

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Efeito do gesso nos teores de fósforo avaliados por três métodos de análise de solo

Rodrigo Coqui da Silva

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Rodrigo Coqui da Silva
Engenheiro Agrônomo

Efeito do gesso nos teores de fósforo avaliados por três métodos de análise de solo

Orientador:
Prof. Dr. **LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba
2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Silva, Rodrigo Coqui da
Efeito do gesso nos teores de fósforo avaliados por três métodos de análise de solo /
Rodrigo Coqui da Silva. - - Piracicaba, 2008.
181 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1 Análise do solo 2. Fertilidade do solo 3. Fósforo 4. Gesso 5. Química do solo 6. Solos
I. Título

CDD 631.41

S586e

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais, Olavo e Nair, e à minha irmã Vivian

*Por terem sempre me ensinado o caminho correto por meio do exemplo,
e que por tantas vezes abdicaram de vossos sonhos para realizarem os meus.*

*À minha querida namorada Mariana
pela dedicação, companheirismo, amor
e por todos os momentos vividos.*

Dedico

*“Rogo a Deus que um dia possa ter uma família e consiga ser tão correto e bondoso com meus
filhos quanto meus pais e minha irmã foram comigo”*

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por me dar saúde e iluminar o meu caminho;
- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ / USP), por meio do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização do curso;
- Ao Dr. Luís Ignácio Prochnow, Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ / USP e Diretor do *International Plant Nutrition Institute* (IPNI – Brasil), pela valiosa orientação, ótima convivência, ensinamentos profissionais, pelo apoio nas dificuldades surgidas no decorrer do curso e pela amizade construída. Registro aqui os meus sinceros votos de sucesso nesta nova fase, à frente do IPNI;
- Ao Dr. Sen Hsuing Chien (Norman), Principal Scientist do IFDC - An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development, Muscle Shoals, Alabama / EUA, pelos conhecimentos compartilhados e pela grande colaboração em todas as etapas do projeto;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo entre março e agosto de 2007;
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo e reserva técnica (processo 07/53475-5) entre setembro de 2007 e fevereiro de 2009;
- Aos grandes amigos e companheiros de orientação Adilson, Daniela, Gean, Johnny e Eros pela saudável convivência, incentivo, companheirismo e pelas sugestões e críticas construtivas;
- Aos Professores: Godofredo César Vitti, Luís Ignácio Prochnow, Francisco Antônio Monteiro, Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni, Sônia Maria Stéfano Piedade, Antônio Carlos de Azevedo, Jorge de Castro Kiehl e Quirino Augusto de Camargo Carmello pelos ensinamentos transmitidos durante as disciplinas cursadas e durante o estágio de docência;

- Aos amigos e colegas da pós-graduação: Adriana, Benedito, Carlos Juház (*in memorian*), Cíntia, Fernanda, Fernando, Fabrício, Flávio, Gabriel Barth, Gabriel Marques, Ingrid, Héctor, Henrique, Jaedson, João Luis, Julius, Leônidas, Magnus, Maísa, Márcia, Márcio, Raphael, Roberta, Rodrigo Czcza, Susana, Suzana, Vanda, Vinícius, Débora, Carla, Petra, Frederico, Alexandre, Evandro, Tibério e Thiago, pela saudável convivência em todos os momentos;
- Ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes, na pessoa de quem agradeço aos professores do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP – Botucatu) pela orientação em momentos anteriores e pela valiosa amizade;
- Ao Prof. Dr. Valdomiro S. Souza Júnior da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo auxílio, coleta e envio da amostra do Neossolo Flúvico;
- À Usina Mandacarú (Agrovale), Juazeiro/BA, na pessoa do Engenheiro Agrônomo Ademário Araújo pela coleta e envio da amostra do Vertissolo Hidromórfico;
- Aos técnicos e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ / USP, Luís Silva, Claudinei Lara, João Granja, Vanda, Marta, Nancy, Célia, Sérgio Melo;
- Aos meus familiares: D. Denize, Sidnei; Sr. Marcos e D. Cleusa; Tatiana e João; Fabiana, Alan, Luana e Luan; Luciana e Alan; Marquinho e Amanda; S. Pedro e D. Lourdes; José, Romilda, Felipe e Matheus, pelo constante apoio e incentivo.
- A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

Muito obrigado !

“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso”

Albert Einstein (1879-1955)

“Nosso caráter é o resultado da nossa conduta”

Aristóteles (384-322 A.C.)

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 Revisão Bibliográfica	13
2.1.1 Importância dos métodos de análise de solo	13
2.1.2 Métodos de extração de fósforo.....	19
2.1.3 Utilização do gesso na agricultura.....	30
2.1.4 Interferência do gesso na avaliação da disponibilidade de fósforo	38
2.2 Hipóteses	42
2.3 Objetivos.....	42
2.4 Material e métodos	42
2.4.1 Caracterização das amostras de solo	43
2.4.2 Métodos de extração de fósforo.....	43
2.4.3 Capacidade máxima de adsorção de fósforo	45
2.4.4 Caracterização dos insumos	46
2.4.5 Experimentos	47
2.4.6 Análise dos dados	54
2.5 Resultados e discussão	57
2.5.1 Experimento I: Disponibilidade de fósforo em amostras de quatro solos, avaliada pelo método da resina de troca iônica, após a aplicação de fosfogesso	59
2.5.2 Experimento II: Teores de fósforo em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses de fosfogesso, gipsita ou gesso puro.....	63
2.5.3 Experimento III: Disponibilidade de fósforo em amostras de cinco solos após a adição de fosfogesso e fontes de fósforo	82
2.5.4 Experimento IV: Correlação entre a produção de massa seca ou o acúmulo de fósforo pelo milho e o teor de fósforo no solo em função de doses de fosfogesso.....	108
3 CONCLUSÕES	119
REFERÊNCIAS	120
APÊNDICES	141

RESUMO

Efeito do gesso nos teores de fósforo avaliados por três métodos de análise de solo

A análise química de solo fornece suporte para o manejo de sua fertilidade, por meio de extratores que visam determinar o grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo. As metodologias que avaliam a disponibilidade de fósforo (P) certamente são as que apresentam as maiores controvérsias devido, principalmente, à complexidade do comportamento do nutriente no solo. No Brasil, os métodos mais utilizados para avaliar a disponibilidade de P em solos agricultáveis são Mehlich e resina de troca iônica. O método que emprega tiras de papel de filtro impregnadas com óxido de ferro (Papel-Pi) possui princípio semelhante ao da resina, no entanto é pouco utilizado no Brasil. Devido à deficiência generalizada de nutrientes nos solos brasileiros o gesso agrícola constitui-se um insumo adequado para minimizar condições adversas. Porém, foram relatados problemas na avaliação da disponibilidade de P em solos com elevados teores de gesso (gipsíferos) devido à reação deste com o íon bicarbonato (HCO_3^-), presente na solução Olsen ou na resina de troca iônica, formando carbonato de cálcio que precipita e/ou adsorve o P disponível. Nestas situações os teores de P tendem a ser subestimados. Em solos ácidos, onde o gesso é amplamente utilizado, não há relatos sobre este problema. Assim, objetivou-se com o presente trabalho estudar a interferência do gesso na disponibilidade de P em solos ácidos, sendo conduzidos quatro experimentos. Em três experimentos de incubação aplicaram-se tratamentos com doses variando de 0 até 75 g kg^{-1} de fosfogesso, gipsita ou gesso puro, além de doses de P na forma de superfosfato triplo (SFT) ou fosfato natural reativo (FNR). Foram utilizadas amostras de cinco solos com características químicas e físicas variadas. Foi conduzido um experimento com doses de fosfogesso em casa de vegetação cultivando-se milho. Avaliaram-se os teores de P nas amostras de solo pelos métodos da resina de troca iônica (saturada com NaHCO_3), Mehlich e Papel-Pi, e no experimento de casa de vegetação, estes teores foram correlacionados com a produção de massa seca e com o P acumulado pelo milho. Em todas as situações estudadas o gesso interferiu na avaliação dos teores de P-resina, fato não observado para os teores de P-Mehlich e P-Papel-Pi. Confirmou-se a hipótese de que métodos que empregam HCO_3^- podem subestimar os teores de P devido à interferência do gesso, naturalmente dos solos ou adicionado com a finalidade de corrigi-los. Houve boa correlação entre os teores de P-Papel-Pi e P-Mehlich, exceto quando utilizou-se FNR, pois a solução Mehlich superestimou estes valores devido à sua ação ácida. De forma geral, não houve boa correlação entre os teores de P no solo e a produção de massa seca e o P acumulado pelo milho, devido ao desenvolvimento irregular das plantas em função das maiores doses de fosfogesso. Portanto, confirmou-se que os problemas da interação do bicarbonato com o gesso, relatados até então para solos gipsíferos ou calcareos, podem ocorrer também em solos ácidos com aplicação de gesso. No entanto, notou-se claramente que a quantidade de gesso necessária para causar esta interferência supera as doses normalmente aplicadas.

Palavras-chave: Gesso, fósforo, resina de troca iônica, Mehlich, Papel-Pi.

ABSTRACT

Effect of gypsum in the soil bioavailable phosphorus measured by three methods

The soil chemical analysis provides technical support for soil fertility management through methodologies aiming to evaluate the level of sufficiency or deficiency of nutrients. The methods used to evaluate the phosphorus (P) bioavailability are certainly the most controversial which is due, mainly, to the complex interactions of this nutrient in the soil. In Brazil, the most common methodologies to evaluate soil P bioavailability in agricultural soils are the Mehlich and the ion exchange resin. The method that uses filter paper strips impregnated with iron oxide (Pi paper) is very similar in principle to the ion exchange resin, but has not been adequately studied in Brazil. Due to general soil fertility problems, gypsum has been applied acting as a soil subsurface ameliorant and also to decrease high soil sodium contents. Although, problems have been detected when evaluating P bioavailability in soils with high contents of gypsum due to the reaction of bicarbonate (HCO_3^-), contained in the Olsen solution or in the ion exchange resin, because of the precipitation of calcium carbonate. In these situations the levels of P tend to be underestimated. In acid soils, where gypsum is widely applied, there is no investigation and reports on this problem, which was the objective of this study. Four experiments were carried out. In three incubation experiments different combinations were tested of P rates varying from 0 to 75 g kg^{-1} of phosphogypsum, gipsite or reagent grade gypsum and the P sources triple superphosphates and Arad phosphate rock (APR). Five soil samples with different chemical and physical properties were used. Also, a greenhouse experiment was carried out with two short corn crops submitted to rates of gypsum applied to the soil. The soil samples were analyzed by three different methodologies, i.e., the ion exchange resin with NaHCO_3^- , Mehlich and Pi paper, and in the greenhouse experiment the soil contents by these different procedures were correlated with dry-matter yield and P uptake by the corn plants. In all situations the presence of gypsum did interfere in the P bioavailability by the resin method, with a clear trend to decrease the P contents. The hypothesis that methods that utilize the HCO_3^- can underestimate the amounts of soil P due to the presence of gypsum, natural or added to soils, was once again confirmed. An adequate correlation was found between the amounts of P evaluated by the Pi Paper and the Mehlich procedure, except when the APR was used, once the Mehlich tended to overestimate the values due to its acidic condition. In general, there was no adequate relation between the soil P and corn dry-matter yield or P uptake, which was probably due to irregular development of plants in treatments where high rates of gypsum was applied. It was shown that the interaction of HCO_3^- with gypsum, before only reported for soils high in gypsum, can also occur in acid soils but it was noticed that the amount of gypsum to cause the interference is generally higher than the rates normally used at field conditions.

Keywords: Gypsum; phosphorus; ion exchange resin; Mehlich; Pi paper.

1 INTRODUÇÃO

A análise química é a atividade central dos processos de correção e fertilização do solo, sendo ferramenta fundamental para o manejo de sua fertilidade (RAIJ et al., 2001). Envolve processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes (WELSH; WIESE, 1973). Por meio de extratores químicos procura-se determinar o grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo, além de quantificar condições adversas, tais como acúmulo de metais pesados tóxicos.

Dentre os métodos de análise de solo descritos, aqueles que relatam a disponibilidade de fósforo (P) certamente são os que apresentam as maiores controvérsias. A grande variedade de métodos é um indicativo da complexidade do comportamento do nutriente no solo (LARSEN, 1967; RAIJ, 1978; FIXEN; GROVE, 1990). Este fato se deve à particularidade da análise química de solo para fins de fertilidade, que determina frações de espécies químicas de interesse, cujos resultados dependem do método de extração utilizado (PECK; SOLTANPOUR, 1990).

A compreensão dos mecanismos que influenciam na dinâmica do P é fundamental no sentido de optar pelo método mais adequado de avaliar a sua disponibilidade. As reações do P no solo que levam a maior ou menor disponibilidade do elemento, estão diretamente associadas às inter-relações que ocorrem entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade (C), em que, I corresponde ao P em solução, Q ao P-lábil e C a capacidade tampão de P (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O extrator de P mais utilizado no Brasil é o Mehlich. A grande vantagem do método está na facilidade de obtenção de extratos límpidos por decantação e no baixo custo da análise, além da simplicidade operacional (EMBRAPA, 1999). Devido à composição ácida desta solução, extrai predominantemente o P ligado a cálcio (Ca) e quantidades menores de P ligado a ferro (Fe) e alumínio (Al).

O método adotado para o Estado de São Paulo é o da resina de troca iônica, que além de P extrai simultaneamente Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , devido ao uso das resinas catiônica e aniônica saturadas com bicarbonato de sódio (NaHCO_3 1 mol L^{-1} em pH 8,5) (RAIJ; QUAGGIO, 2001). O princípio do processo de extração permite a avaliação do P lábil, por dissolução gradativa de compostos fosfatados da fase sólida do solo e transferência de íons ortofosfato para a resina de troca iônica.

A presença do íon bicarbonato (HCO_3^-) apresenta vantagens sendo um dos motivos do sucesso da extração de P, devido ao tamponamento do pH da suspensão (SIBBESSEN, 1978).

Outro procedimento relativamente novo para avaliar o P disponível no solo é o método que utiliza papel de filtro impregnado com óxido de ferro (Pi-paper ou Papel-Pi), cuja metodologia original foi descrita por Menon, Chien e Hammond (1989a). A vantagem deste método é apresentar princípio de extração semelhante ao da resina (GUO; YOST; JONES, 1996), ou seja, por dissolução do fosfato da fase sólida do solo para a solução e desta para as tiras com óxido de ferro. É um método que possui bom embasamento científico, além de ser muito pouco influenciado pelas propriedades do solo, podendo ser utilizado para solos com características físicas, químicas e mineralógicas muito variáveis (MENON; CHIEN; HAMMOND, 1989b).

No Brasil, a avaliação da fertilidade do solo se faz fundamental pela deficiência generalizada de nutrientes no solo (LOPES; COX, 1977). Extensas áreas caracterizam-se pelos teores extremamente baixos de cátions trocáveis, assim como a deficiência natural de P aliada à alta capacidade de adsorção, além de condições adversas como os elevados teores de Al^{3+} . Estas condições impedem o desenvolvimento radicular de muitas culturas no subsolo, significando plantas mais susceptíveis a períodos de falta de água, limitando a produtividade (MALAVOLTA; ROMERO; LIEM, 1979).

Desta forma, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) constitui-se um ótimo insumo para minimizar estas condições adversas, como condicionador de subsuperfície, por penetrar no subsolo onde reduz o efeito tóxico que o Al^{3+} tem sobre as raízes, além de minimizar a deficiência de Ca^{2+} , que também impede o crescimento radicular (RAIJ, 1988). Por outro lado, o gesso também é utilizado em regiões de clima semi-árido ou árido, para a remoção de excesso de sódio (Na^+) do solo, sendo este o seu maior uso na agricultura mundial (FARINA; CHANNON, 1988; SHAINBERG et al., 1989; ALCORDO; RECHCIGL, 1993; SUMNER, 1993).

No Brasil não há relatos de problemas na extração do P disponível causados pela presença de gesso, natural ou adicionada ao solo. Porém, em condições de solos alcalinos, Al-Merey et al. (2004) justificaram a baixa extração de P em determinada amostra de solo, em virtude do elevado teor natural de CaSO_4 .

Al-Merey et al. (2004), comparando a disponibilidade de P por três métodos (resina, Olsen e Papel-Pi) em solos calcareos tratados com fontes solúveis de P, demonstraram boa correlação entre os métodos, porém em uma das amostras, que apresentava expressivo teor de

CaSO₄ natural, os métodos da resina e Olsen subestimaram consideravelmente a avaliação do P disponível, enquanto que o método do Papel-Pi não foi influenciado pelo CaSO₄.

Embora não apresentassem evidências dos mecanismos envolvidos, os autores apresentaram a hipótese de que o HCO₃⁻, presente na solução Olsen (0,5 M NaHCO₃) e nas tiras de resina (saturadas com HCO₃⁻), pode ter reagido com o CaSO₄ formando carbonato de cálcio (CaCO₃), que por sua vez pode precipitar e/ou adsorver o P solúvel, subestimando os teores do nutriente.

Posteriormente, Chien, Austin e Calvo (2009) apresentaram evidências físicas da formação de CaCO₃ conforme sugerido por Al-Merey et al. (2004), por meio de difratometria de raio-X, e também observaram problemas na extração do P disponível pelos métodos da resina e Olsen, novamente estudando solos calcareos. Além disso, Chien, Austin e Calvo (2009), observaram que não houve correlação entre os teores de P-Olsen e P-resina com a produção de massa seca e P acumulado por milho e trigo cultivados em vasos, diferentemente do que foi observado para os teores de P-Papel-Pi, evidenciando a falta de sensibilidade dos métodos da resina e Olsen em avaliar a disponibilidade de P nestas condições.

Trata-se, na verdade, de um fato já mencionado anteriormente por Chhabra, Abrol e Singh (1981), em experimento de campo e em colunas de solo em laboratório, ambos com solos sódico-salinos. Os autores apresentaram algumas hipóteses semelhantes às sugeridas por Al-Merey et al. (2004) e confirmadas por Chien, Austin e Calvo (2009), no entanto a discussão não forneceu embasamento claro que comprovasse as afirmações feitas.

Assim, a disponibilidade de P avaliada por métodos de extração que empregam o íon HCO₃⁻, pode ser subestimada em solos com elevados teores de gesso, seja ele naturalmente presente no solo ou adicionado como melhorador de subsuperfície ou corretivo de sodicidade. Não existem pesquisas sobre esta situação em solos ácidos, onde o gesso de fato é amplamente utilizado.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Importância dos métodos de análise de solo

A avaliação da fertilidade do solo envolve processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes (MELSTED; PECK,1973). No entanto, para que este processo atinja eficácia, a análise de solo precisa ter forte embasamento científico, de maneira que as quantidades recomendadas dos insumos sejam adequadas, conciliando as necessidades de correção do solo e exigências nutricionais das culturas, com economia da produção e da qualidade ambiental (RAIJ et al., 2001)

A análise de solo fornece suporte para o manejo de sua fertilidade utilizando relações determinadas experimentalmente, entre as propriedades químicas do solo e o crescimento das culturas (COPE; ROUSE, 1973). Desta forma, este procedimento requer o uso criterioso de métodos científicos que permitam validar e/ou generalizar informações. Porém, estas são condições muito difíceis de serem alcançadas no trato com sistemas heterogêneos, sobretudo no caso específico do sistema solo-planta, onde a multiplicidade de fatores envolvidos dificulta a extração de informações de caráter científico (RAIJ, 1991).

Por meio de extratores químicos procura-se determinar o grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo, além de quantificar condições adversas que apresentam efeitos prejudiciais ao desenvolvimento das culturas, tais como acidez ou alcalinidade excessivas, salinidade, toxidez por alumínio, acúmulo de elementos fitotóxicos, entre outras (HAVLIN et al., 2005).

Além dos aspectos quantitativos relacionados à avaliação da fertilidade do solo e recomendação de corretivos e fertilizantes, surgiram recentemente outros fatos relevantes de preocupação ambiental, que têm aumentado o interesse na análise do solo (SHEETS; BERGQUIST, 1999), com a finalidade de prevenir que o excesso de nutrientes e o acúmulo de metais pesados tóxicos possam contaminar os recursos hídricos.

Provavelmente a análise de solo começou de alguma forma, tão logo o homem tornou-se interessado em saber como as plantas crescem. Melsted e Peck (1973) relataram que as primeiras

tentativas de correlacionar o crescimento das plantas com os nutrientes presentes no solo foram descritas por Liebeg (1840). Ainda de acordo com os mesmos autores, várias décadas após as primeiras tentativas rudimentares, pouco avanço foi obtido até o início do século passado. Entretanto, por volta de 1930, sobretudo devido às pesquisas desenvolvidas em estações experimentais norte-americanas, grandes avanços foram observados nestas técnicas, que passaram a ser amplamente utilizadas e aceitas naquele país como ferramenta para a recomendação de corretivos e fertilizantes.

Embora as primeiras pesquisas tenham sido desenvolvidas nos Estados Unidos, rapidamente os métodos analíticos foram adotados em diversos países, sendo atualmente praticado em todo o mundo (KLESTA; BARTZ, 1996, SUMNER, 2006). O grau de sucesso, entretanto, depende da quantidade e principalmente da qualidade das pesquisas sobre os métodos empregados, de sua adaptação, calibração e interpretação considerando-se as características regionais (PECK, 1990).

No Brasil, o assunto foi tratado com atenção especial, uma vez que os principais desenvolvimentos foram originados de países de clima temperado, e muitas das metodologias analíticas não são adequadas para solos tropicais (RAIJ et al., 2001). Assim, seu emprego foi muito limitado até o início da década de 1960, mesmo com a importante publicação que passou a ser conhecida como Boletim 69, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sobre métodos de análise de solo (CATANI; GALO; GARGANTINI, 1955), que além da descrição dos métodos analíticos apresentava os limites de interpretação dos resultados. Neste período, levantamentos davam conta que menos de 20 mil amostras eram realizadas anualmente no Brasil, enquanto que nos Estados Unidos apenas no ano de 1963 quase 3 milhões de análises foram realizadas (WELSH; WIESE, 1973).

Apreciável avanço somente foi observado a partir da década de 1960, com um convênio entre o Ministério da Agricultura brasileiro, na ocasião representado pelo Instituto de Química Agrícola (Atual Embrapa Solos) e a Universidade da Carolina do Norte / EUA. Os principais benéficos desta parceria foram à uniformização dos métodos de análise bem como a automação dos laboratórios. Muitos dos métodos descritos por Catani, Galo e Gargantini (1955) eram compatíveis com os introduzidos pelo convênio, apresentando resultados similares. Inicialmente, procurou-se aperfeiçoar alguns aspectos dos métodos de extração que apresentavam resultados em desacordo com as respostas das culturas à aplicação de insumos.

A evolução na análise de solo no País se deve, em parte, à rápida expansão no uso de fertilizantes minerais, bem como ao progresso econômico do período mencionado. Porém, os primeiros métodos de extração empregavam soluções ácidas que resultavam em teores de nutrientes com pouca ou nenhuma correlação com aqueles de fato disponíveis às plantas (JOHNSON; WESTERMAN, 1980). Este fato se deve à particularidade da análise química de solo para fins de fertilidade, que determina frações de espécies químicas de interesse, cujos resultados dependem do método de extração utilizado (PECK; SOLTANPOUR, 1990). Assim, mesmo contra certas tendências claras, os trabalhos desenvolvidos no Brasil, especialmente no IAC, foram voltados para a concepção de métodos que apresentassem diagnóstico apurado e com elevado interesse do ponto de vista agrônomo, mesmo que isto implicasse em maiores dificuldades nas rotinas laboratoriais (RAIJ et al., 2001).

Poucas informações referentes ao avanço da análise de solo até a década de 1980 são encontradas, exceção feita à publicação de Cabala-Rosand e Raij (1983), que compila informações de 1972 a 1981. As pesquisas desenvolvidas no Estado de São Paulo culminaram com a introdução de um método de extração, simultânea, com a resina de troca iônica de fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e potássio (K), e do cálculo de calagem por meio da elevação da saturação por bases a valores preestabelecidos (RAIJ; QUAGGIO, 1983). Estas mudanças vieram acompanhadas pela atualização das tabelas de adubação e calagem (RAIJ et al. 1985).

Toda esta evolução só foi possível graças à aproximação da ciência do solo a ramos da química analítica (MUNTER, 1990). A instrumentação dos laboratórios permitiu que os métodos fossem otimizados tanto na qualidade e precisão dos resultados quanto na velocidade dos procedimentos de rotina (KLESTA; BARTZ, 1996; LOPEZ et al., 2006). Embora seja possível realizar boas análises com equipamentos modestos, o baixo nível de investimento pode ter algum reflexo na qualidade dos resultados analíticos. Em levantamento sobre os laboratórios de análise de solo no Brasil, apenas 28% dos laboratórios avaliados dispunham de um espectrofotômetro de absorção atômica (CANTARELLA; RAIJ; QUAGGIO, 1995), fato que pode indicar o baixo nível de investimento em aparelhagem moderna. Desde a expansão da análise de solo no Brasil, a maioria dos laboratórios apresentava apenas equipamentos modestos como fotômetro de chama, colorímetro, medidor de pH, e principalmente no Nordeste, condutivímetro. Paulatinamente, aparelhos modernos estão sendo introduzidos.

Embora em países como a Holanda, por exemplo, a preocupação com a qualidade da análise de solo por meio de programas de qualidade seja praticada há muito tempo (VERMEULEN, 1953), no Brasil esta questão passou a ser mais efetivamente discutida com a criação dos programas interlaboratoriais de qualidade de análise de solo. Atualmente, estão em funcionamento cinco programas de controle de qualidade da análise de solo nos Países (CANTARELLA; RAIJ; QUAGGIO, 1995; OLIVEIRA; CORREA; CAMPOS, 1995; PÉREZ; MENEGUELLI, 1997; WIETHÖLTER, 2001), que congregam laboratórios que praticam os mesmos métodos. São eles: Programa de ensaio de proficiência do Instituto Agrônomo da Campinas (PEP-IAC), o Programa interlaboratorial de controle da qualidade de análise de solo de Minas Gerais (PROFERT), o Programa da rede oficial de laboratórios de análise de solo e tecido vegetal dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ROLAS), o Programa da comissão estadual de laboratórios de análises agrônômicas do Estado do Paraná (CELA) e o Programa de análise de qualidade de laboratórios de fertilidade da Embrapa (PAQLF). Desta forma, os programas zelam pela qualidade das análises realizadas para os agricultores, avaliando-se a convergência dos resultados dos laboratórios de acordo com critérios estatísticos (QUAGGIO; CANTARELLA; RAIJ, 1994), específicos de cada programa.

Porém, o sucesso de um bom programa de correção de solo não está apenas relacionado com a análise química do solo visando à avaliação de sua fertilidade (HOUBA; NOVOZAMSKY; LEE, 1996; BARNARD; VUUREN; CLAASSENS, 2005). Entre outros fatores, a adoção desta ferramenta fundamental está relacionada à (i) conscientização dos produtores e técnicos de sua necessidade, (ii) práticas de amostragem corretas, (iii) métodos analíticos eficazes, (iv) melhorias constantes nos métodos de correlação e calibração dos dados e (v) interpretação e recomendações consistentes (WELSH; WIESE, 1973).

A amostragem de solo geralmente é a responsável pelas maiores fontes de variação dos resultados (CANTARELLA, 1999) sendo que os erros de amostragem são muito maiores do que os analíticos. Assim, a exatidão na caracterização de um meio naturalmente heterogêneo depende muito mais de cuidados para a minimização do primeiro erro. Assim, a partir da retirada de uma amostra não representativa, nunca se obterá adequada caracterização da fertilidade do solo, por maior que seja a acurácia do laboratório (CANTARUTTI et al., 2007)

Diversas são as prerrogativas para obtenção de uma amostra representativa, considerando o tamanho e a homogeneidade da área, número mínimo de pontos de amostragem, entre outros

(BARRETO; NOVAIS; BRAGA, 1974). Baseando-se no fundamento de que a variabilidade das características do solo é uniformemente distribuída na gleba, infere-se que os pontos de coletas de amostras simples devem ser aleatoriamente distribuídos, formando as amostras compostas.

Porém, quando a variação da característica analisada não obedece a uma distribuição espacial aleatória, caso comum no trato com extensas áreas, os resultados de uma amostra composta certamente não representarão a fertilidade média da gleba, dentro de faixas aceitáveis de erro. Nestas situações, o emprego da geoestatística é uma interessante ferramenta, uma vez que estabelece a distância mínima entre as amostras simples para que sejam consideradas independentes, na técnica do semivariograma (VIEIRA, 2000).

A construção de um modelo confiável de análise de solo requer duas fases essenciais: (i) a seleção do método de análise e (ii) a calibração de seus resultados, estabelecendo-se critérios de diagnósticos e a doses de corretivos e/ou fertilizantes recomendadas (DANKE; OLSON, 1990). A disponibilidade de um nutriente depende da forma química em que se encontra, das condições climáticas, da disponibilidade de outros elementos e da capacidade da planta na sua absorção. No entanto, a quantidade absorvida pelas plantas não representa exatamente o teor disponível no solo, mesmo assim constitui o melhor referencial da disponibilidade dos nutrientes, por integrar efeitos do solo, clima e manejo (CANTARUTTI et al., 2007). Desta forma, os experimentos de correlação buscam avaliar a relação entre o teor do nutriente recuperado pelo método em questão e o conteúdo do mesmo na planta ou com parâmetros de seu crescimento (ALVAREZ V, 1996).

Para maior funcionalidade, os métodos devem ser universais, ou seja, aplicáveis a uma ampla variação de propriedades do solo e de plantas (SIMS, 1999). Assim, durante os processos de seleção de métodos de análise, devem ser testados solos com grande variação quanto à taxonomia, mineralogia, textura, teor de matéria orgânica e, certamente disponibilidade do nutriente em estudo (HANWAY, 1973). Geralmente, por conveniência de estudar grande número de solos em tempo reduzido, além do controle de outras fontes de variação, os experimentos de correlação são desenvolvidos em casa de vegetação utilizando uma planta indicadora para obter a medida da disponibilidade real (quantidade absorvida). Os dados dos teores do nutriente no solo e da quantidade absorvida ou os indicadores de crescimento da planta são correlacionados, sendo este um critério essencial para a validação de novos métodos (PECK; SOLTANPOUR, 1990).

Caso estes estudos preliminares demonstrem que o método apresenta desempenho satisfatório, experimentos de campos são necessários para avaliar a exatidão com que ele estima a

disponibilidade nas condições normais de crescimento das culturas, onde interagem simultaneamente os vários componentes do sistema de produção (HANWAY, 1973). Estes experimentos devem empregar diversas culturas assim como incluir ampla variação quanto à disponibilidade do nutriente, pois a sensibilidade do método, ou seja, a capacidade do mesmo de recuperar o nutriente diante do aumento de sua disponibilidade é outra característica desejável (RAYMENT, 2005).

Porém, apenas a confirmação de que determinado método de análise de solo se correlaciona positivamente com as respostas da planta à presença do nutriente não é suficiente para que seja utilizado no diagnóstico e na correção de sua fertilidade (BERINGER, 1985). Para tanto, torna-se necessário o estabelecimento de valores de referência para a disponibilidade dos nutrientes e definição das doses de fertilizantes e/ou corretivos a serem recomendadas, o que é complementado pelos experimentos de calibração (CANTARUTTI et al., 2007).

Segundo Sims (1993), a calibração tem por objetivo definir níveis críticos, classes de fertilidade ou de disponibilidade do nutriente, indicando as doses a serem aplicadas, desde que necessárias. Busca-se o relacionamento matemático do teor do nutriente extraído pelo método e a resposta da planta à adição do nutriente.

Um dos propósitos da calibração é facilitar a interpretação dos resultados de análise do solo, de maneira simples (DANKE; OLSON, 1990). Diferentemente dos experimentos de correlação, no caso da calibração são indispensáveis os experimentos de campo, onde são elaboradas redes de experimentos de curva de resposta. Com estes experimentos, define-se a resposta das culturas às doses do nutriente, e ainda a resposta ao aumento da disponibilidade dos nutrientes nos solos (ALVAREZ V., 1996). Com a repetição em anos sucessivos, a produção em termos absolutos ou relativos possibilita reunir a base de dados para a elaboração das tabelas de recomendação de corretivos e fertilizantes. Outra informação relevante é a obtenção das classes de teores e dos chamados níveis críticos, que sugerem a probabilidade de resposta das culturas à aplicação de nutrientes (RAYMENT, 2005).

Uma grande tendência na evolução dos métodos analíticos foi a busca por procedimento que analisassem mais de um nutriente simultaneamente (RODRIGUEZ-SUAREZ et al., 2008). Em seu trabalho original, Mehlich (1953) citado por Thomas e Peaslee (1973), descrevia a solução extratora que levou seu nome e que perdurou por mais de duas décadas sem mudanças, principalmente para avaliação de P e K, até ser otimizada e alterada para a extração de

micronutrientes (MEHLICH, 1978; 1984). No mesmo sentido, Raij, Quaggio e Silva (1986) introduziram a mistura de resinas catiônica e aniônica que além de P, extrai Ca, Mg e K, fazendo com que a atividade destes cátions diminuíssem durante a extração, fato relevante para a avaliação da disponibilidade de P.

Portanto, a alta preocupação em busca de métodos mais eficazes e com a qualidade da análise química de solo é um indicativo de sua importância nos sistemas de produção e na questão ambiental (WOLF; JONES; HOOD, 1996). A análise química é a atividade central dos processos correção e fertilização do solo, sendo ferramenta indispensável na agricultura brasileira (RAIJ et al. 1994; CANTARELLA; RAIJ; QUAGGIO, 1998) e mundial para o manejo de sua fertilidade, sobretudo atualmente com a elevação, sem precedentes, dos preços dos fertilizantes (FERREIRA; VEGRO, 2008).

2.1.2 Métodos de extração de fósforo

A grande variedade de métodos de extração de P é um indicativo da complexidade do comportamento do nutriente no solo, assim como a falta de concordância com o método mais adequado. (LARSEN, 1967; RAIJ, 1978; CABALA-ROSAND; SANTANA, 1983; FIXEN; GROVE, 1990).

A avaliação da disponibilidade de P no solo é um dos maiores desafios dos cientistas de solo. Esta dificuldade está relacionada, entre outros fatores, à forte interação do nutriente com os colóides do solo e com outros elementos presentes na solução do solo (SHARPLEY, 2000). A quantidade de métodos de avaliação bem como as divergências com relação à escolha do mais eficaz são fatos não observados para nenhum outro nutriente (KLEINMAN et al., 2001).

Este desafio é ainda maior em solos tropicais altamente intemperizados, situação predominante nas condições brasileiras (LOPES, 1984). A baixa absorção pelas plantas do P nativo do solo ou adicionado via fertilizante é consequência dos produtos da reação deste no solo, processo genericamente denominado *fixação de fósforo*¹. Assim, a boa compreensão dos

¹ O conceito de *Fixação de fósforo* é bastante divergente entre autores. Em muitos trabalhos relacionados ao assunto, denominações diferentes dizem respeito ao mesmo processo, induzindo a erros de interpretação. Sanchez e Uehara (1980) descrevem a fixação de fósforo como sendo a transformação de formas solúveis de fósforo em formas menos solúveis após a ocorrência de reações com o solo. Neste trabalho, a terminologia é empregada referindo-se aos fenômenos que levam a diminuição da biodisponibilidade de P às plantas, como, principalmente, os de adsorção específica e de precipitação.

mecanismos que influenciam na dinâmica de P é fundamental no sentido de optar pelo método mais adequado de se avaliar a sua disponibilidade (BARROW, 1983; SHOBER; SIMS, 2007)

A complexidade da dinâmica do P em solos tropicais se faz importante devido à predominância de oxi-hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), os quais, com a caulinita, perfazem a maior parte da composição mineralógica da fração argila do solo (ARAI; SPARKS, 2007), sendo a mais ativa e na qual ocorrem as reações. Vale lembrar que o elemento possui elevada afinidade com metais, formando os fosfatos divalentes e trivalentes, principalmente com Ca, Mg, Al, Fe e Mn (PIERZYNSKI; LOGAN; TRAINA, 1990). Estes possuem baixa solubilidade em água e, portanto, na solução do solo. Além dos fosfatos inorgânicos, o solo contém relevante proporção dos fosfatos orgânicos, que podem representar grande parte do P total (CONDRON et al., 1990; DALAL, 1977; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A baixa solubilidade dos fosfatos em água é demonstrada pela concentração de P na solução do solo, que pode variar largamente em função de diferenças no solo, mas em média é bastante reduzida (HAVLIN et al., 2005). Do teor total de P no solo, que varia de 200 a 3000 mg kg⁻¹ (NOVAIS; SMYTH, 1999), geralmente menos de 0,1% está presente na solução do solo, principalmente na forma do íon ortofosfato, uma das formas derivadas do ácido ortofosfórico (LINDSAY, 1979).

Sem contar a baixa concentração que está na solução do solo, portanto disponível às plantas, a grande parte do P está ligado a frações coloidais do solo e da matéria orgânica. Dentre as tentativas de se caracterizar o seu conteúdo, a técnica de fracionamento das formas de P (CHANG; JACKSON, 1957) está entre as mais interessantes e amplamente utilizadas no mundo. Desta forma, após as extrações sucessivas que uma amostra é submetida, obtém-se a compartimentalização do P total do solo. Obviamente que os teores que se encontram em equilíbrio com as formas em solução são extremamente baixos.

Para os solos brasileiros, de forma geral, as três frações inorgânicas mais observadas são, respectivamente, P-Fe > P-Al > P-Ca, além de muitos outros compostos de caráter transitório, sobretudo em solos recém fertilizados (RAIJ, 2003). O fracionamento das formas de P pode predizer a eficácia de um método de extração, uma vez que muitas das soluções extratoras são sensíveis preferencialmente a uma determinada forma (Al-ABBAS; BARBER, 1964; KUO, 1996).

Certamente as condições de pH são relevantes para os produtos formados pelas reações do P no solo (THOMAS; PEASLEE, 1973). Em solos ácidos, o produto final da reação de fosfatos com hidróxidos de Al e Fe são os minerais variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), respectivamente. Já em condições de alcalinidade, a tendência maior é a formação de compostos com Ca, na seguinte seqüência de compostos cada vez mais insolúveis: fosfato dicálcico, tricálcico, octocálcico, hidroxiapatita e fluorapatita (RAIJ, 2003). Ressalta-se desta discussão o papel fundamental do pH na disponibilidade de P, e da confirmação do predomínio de compostos do tipo P-Fe e P-Al, em condições ácidas e P-Ca em condições alcalinas, fato este preponderante para a escolha do método de extração a ser adotado (MURIUKI; BARBER, 1983)

Pelos motivos supracitados, os primeiros métodos desenvolvidos para avaliar a disponibilidade de P fracassaram visto que levavam em consideração principalmente o teor total do elemento no solo, evidenciando-se a falta de consistência teórica e o empirismo (ANDERSON, 1960; BINGHAM, 1962). Porém logo se evidenciou que este não era um bom parâmetro para a avaliação da disponibilidade do nutriente às plantas, uma vez que as plantas absorvem apenas o P que se encontra na solução do solo (WILD, 1964). Assim buscaram-se métodos de extração que simulassem a ação das raízes das plantas, como foi o caso da solução de ácido cítrico a 1%.

Como já mencionado, as reações do P no solo que levam a maior ou menor disponibilidade do elemento, estão diretamente associadas às inter-relações que ocorrem entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade (C), em que, I corresponde ao P em solução, Q ao P lábil² e C a capacidade tampão de P (NOVAIS; SMYTH, 1999). Logo, a disponibilidade de P para as plantas depende da concentração de P na solução do solo e, principalmente, da capacidade do solo em manter teores adequados de P em solução para suprir a necessidade da planta durante o ciclo da cultura. Assim, o equilíbrio entre o P lábil e o P em solução definirá a disponibilidade deste nutriente para uma cultura qualquer. Sabendo-se que os três fatores (I, Q e C) atuam seguindo equilíbrios químicos, a alteração em um fator ou compartimento irá apresentar reflexos em outro até que se estabeleça um novo equilíbrio (LARSEN, 1967).

Com o estudo das formas de P presentes no solo, evidenciou-se a necessidade da quantificação apenas das formas em equilíbrio com àquela em solução. O bom entendimento dos

² Alguns autores mencionam que as formas de P-lábil são aquelas que de alguma forma encontram-se disponíveis às plantas. O conceito de labilidade está relacionado à fração de P que se encontra em fosfatos com ligações meta-estáveis, as quais evoluem com o tempo para ligações químicas mais estáveis, diminuindo gradativamente sua disponibilidade.

conceitos de I, C e Q, levou à compreensão melhor sobre a disponibilidade de P nos solos, e por meio dos trabalhos de McAullife et al. (1948) e Larsen (1952), foi possível determinar o P lábil, na oportunidade chamado fósforo “isotopicamente trocável”, devido ao uso da técnica isotópica com ^{32}P , e que foi correlacionado com o fator quantidade, tomado como referência para trabalhos de pesquisa.

Partiu-se então para a avaliação do P disponível do solo, que passou a ser feita com o uso de soluções extratoras com características diversas (LUSCOMBE; SYERS; GREGG, 1979). A extração do P disponível fornece valores que variam entre intensidade ou em solução (I) e quantidade (Q), às vezes até mesmo parte do P não lábil, dependendo das propriedades do extrator e das condições de extração, sem informar sobre o fator capacidade (Q/I). Na verdade, a quantidade extraída por muitos métodos vem quase toda do P adsorvido (Q), uma vez que o P em solução é, em condições normais, extremamente menor que a primeira fonte (NOVAIS; SMITH, 1999).

Assim, a maior parte dos métodos de análise, incluindo os empregados no Brasil, avalia o fator quantidade, pela dificuldade de se isolar a fração lábil da não lábil, ou mesmo de resíduos de fertilizantes recém aplicados e não dissolvidos (RAIJ, 2003). Estes problemas são agravados com o emprego de soluções extratoras que tem ação específica apenas sobre determinadas formas de P. Desta forma, a grande dificuldade da análise de P em solos está na impossibilidade de simular com precisão o que é, na realidade, um sistema essencialmente dinâmico (THOMAS; PEASLEE, 1973).

São vastas as informações referentes à evolução e à utilização dos métodos de extração de P no mundo, cujas informações são sumarizadas em diversas revisões (NELSON; MEHLICH; WINTERS, 1953; ANDERSON, 1960; BINGHAM, 1962, LARSEN, 1967; RAIJ, 1978; SIMS, 1993, SILVA; RAIJ, 1999; BEEGLE, 2005). Nestas publicações, são apresentados levantamentos daqueles mais utilizados bem como comparações de eficiência. A Tabela 1 sintetiza, cronologicamente, os métodos mais utilizados no mundo. A análise comparativa de métodos de extração deve ser cuidadosamente realizada, uma vez que diversas informações são necessárias para a interpretação correta dos resultados e muitas publicações não apresentam dados suficientes para o pleno entendimento do comportamento de certo extrator.

No Brasil, duas publicações tratam especificamente deste assunto. Raij (1978), em uma abrangente revisão de literatura, lista 42 artigos publicados em várias regiões do mundo entre os

anos de 1953 e 1977 e como conclusão, aponta que o método da resina apresenta superioridade aos demais métodos, demonstrando-se versátil e adaptando-se bem a diferentes condições de solo. Posteriormente, Silva e Raij (1999) atualizaram a revisão e os dados foram semelhantes ao descritos no final da década de 1970, sendo a resina mais eficaz quando comparado com os demais métodos.

Tabela 1 - Principais métodos de extração de fósforo

Método	Composição	Autor
Ácido cítrico	$C_6H_8O_7$ a 1%	Dyer (1894)
Truog	H_2SO_4 0,001 mol L ⁻¹ + $(NH_4)_2SO_4$	Truog (1930)
Morgan	CH_3COOH 0,54 mol L ⁻¹ + $NaC_2H_3O_2$ 0,7 mol L ⁻¹	Morgan (1941)
Bray-1	HCl 0,025 mol L ⁻¹ + NH_4F 0,03 mol L ⁻¹	Bray e Kurtz (1945)
Bray-2	HCl 0,1 mol L ⁻¹ + NH_4F 0,03 mol L ⁻¹	Bray e Kurtz (1945)
Valor E	Troca isotópica entre solo-P e ³² P	McAuliffe et al. (1948)
Valor L	Troca isotópica entre solo-P e ³² P – avaliado por meio de planta	Larsen (1952)
Valor A	³² P	Fried e Dean (1952)
Mehlich-1	HCl 0,05 mol L ⁻¹ + H_2SO_4 0,0125 mol L ⁻¹	Mehlich (1953)
Mehlich-2	HCl 0,012 mol L ⁻¹ + NH_4F 0,015 mol L ⁻¹ + CH_3COOH 0,2 mol L ⁻¹ + NH_4Cl 0,2 mol L ⁻¹	Mehlich (1978)
Mehlich-3	NH_4F 0,015 mol L ⁻¹ + CH_3COOH 0,2 mol L ⁻¹ + NH_4NO_3 0,25 mol L ⁻¹ + HNO_3 0,013 mol L ⁻¹ + EDTA 0,001 mol L ⁻¹	Mehlich (1984)
IAC	H_2SO_4 0,025 mol L ⁻¹	Catani e Gargantini (1954)
Olsen	$NaHCO_3$ 0,5 mol L ⁻¹	Olsen et al. (1954)
CaCl ₂	$CaCl_2$ 0,01 mol L ⁻¹	Schofield (1955)
Resina	Resina de absorção aniônica	Amer et al. (1955)
Egner	Lactato de cálcio 0,01 mol L ⁻¹ + HCl 0,02 mol L ⁻¹	Egner et al. (1960)
Água	H ₂ O	Diest (1963)
Resina	Resina aniônica e catiônica	Raij et al. (1986)
Papel-Pi	Papel de filtro impregnado com óxido de ferro	Menon et al. (1989)

Adaptado de Raij (1978), Kuo (1996), Novais e Smyth (1999); Silva e Raij (1999); Pierzynski (2000)

As soluções extratoras descritas acima são divididas, segundo Kuo (1996), em seis categorias: (i) água ou soluções salinas não tamponadas; (ii) ácidos fracos diluídos; (iii) ácidos forte diluídos; (iv) soluções alcalinas não tamponadas; (v) soluções alcalinas tamponadas; (v) resina de troca iônica ou papel de filtro impregnado com óxido de ferro e; (vi) troca isotópica com ³²P. Cabe lembrar que as quatro primeiras categorias podem receber a adição de agentes complexantes para otimizar a extração.

Raij (2003) elabora uma divisão de quatro grupos baseada não apenas na natureza da solução extratora, mas também de acordo com as principais reações pelas quais o P é removido

da fase sólida do solo, sendo: (i) ação solvente de ácidos; (ii) substituição de ânions; (iii) complexação de cátions combinados e; (iv) hidrólise de cátions combinados com fósforo.

Os métodos do primeiro grupo supracitado por Raij (2003) empregam soluções de ácidos fortes diluídos, normalmente com pH por volta de 2,0 a 3,0. A acidez assegura principalmente a dissolução de fosfatos de Ca e pequena proporção dos fosfatos de ligado à Fe e Al. Um dos inconvenientes destas soluções é a dificuldade de interpretação dos resultados em solos que receberam fosfatos naturais, visto que a acidez da solução promove a solubilização excessiva de frações de P do fertilizante que não estão prontamente disponíveis, superestimando os resultados, como exemplificado nos trabalhos de Bationo et al. (1991) e Sabbe e Dunham (1998).

A premissa de que alguns ânions podem substituir os fosfatos adsorvidos à superfície das partículas do solo é a base dos extratores do segundo grupo mencionado por Raij (2003). Os ânions empregados, quando presentes em soluções ácidas, reduzem a readsorção de P. Embora a seletividade de adsorção de fosfato seja maior, de fato ânions como sulfatos, bicarbonatos, acetato, citrato e lactato podem substituí-lo das ligações por meio de troca de ligantes, mesmo que este processo não seja o dominante na extração (SPOSITO, 1984).

O terceiro grupo utiliza principalmente fluoreto (F^-) para a complexação de metais. Esta extração é muito eficiente em solos onde há predominância de formas de P ligadas a Al, devido à elevada capacidade do F^- na complexação (CAMARGO, 1979; ANDERSON; ZELAZNY; BERTSCH, 1991). Outros ânions como citrato e lactato também são eventualmente utilizados, porém com menor eficiência. Para finalizar a divisão, o quarto grupo é muito associado à função do pH nas soluções empregadas, uma vez que Fe e Al, que os principais cátions que formam compostos de baixa solubilidade com P, são liberados por hidrólise em condições de pH mais elevado, enquanto que em soluções ácidas a principal fração extraída é de P ligado a Ca.

Um dos extratores mais utilizados no mundo, Mehlich, desenvolvido pelo autor com o mesmo nome, foi introduzido no Brasil no início da década de 1960, durante a já mencionada parceria entre o Ministério da Agricultura e a Universidade da Carolina do Norte. Segundo Thomas e Peaslee (1973), o primeiro método original nunca foi publicado oficialmente, sendo descrito apenas em um trabalho mimeografado (MEHLICH, 1953), que perdurou por mais de duas décadas sem mudanças.

No entanto, Mehlich (1978) propôs modificações que resultaram na segunda versão, sendo esta rapidamente otimizada, na qual houve a incorporação de EDTA para complexar

micronutrientes (MEHLICH, 1984). A grande vantagem do método está na facilidade de obtenção de extratos límpidos por decantação e no baixo custo da análise, além da simplicidade operacional (EMBRAPA, 1999).

Por extrair predominantemente o P ligado ao Ca e quantidades menores de P ligado a Fe e Al, são observados comumente baixos valores de P em solos argilosos, desde que a fração argila seja principalmente composta por óxidos de Fe e Al. Nos Estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Goiás tal fato levou a adoção da textura do solo como um dos parâmetros para a recomendação da adubação fosfatada (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999), decisão que diminuiu o erro mas não o eliminou.

A adoção do teor de argila como parâmetro auxiliar na recomendação das doses de fertilizantes fosfatados pode ser eficiente apenas em parte das recomendações. Isto se deve ao fato de que não é apenas o teor (quantidade), mas principalmente o tipo de argila que interfere significativamente na dinâmica do P no solo (GOLDBERG; SPOSITO, 1984a; GOLDBERG; SPOSITO, 1984b). Além dos óxidos, o P pode ser fortemente retido em solos com predominância de caulinita (IOANNOU; DIMIRKOU, 1997; ARAI; SPARKS, 2007).

Em regiões que apresentem solos ácidos e alcalinos, como a região semi-árida do Nordeste brasileiro, por exemplo, a adoção indiscriminada deste extrator para ambas as situações de solo pode causar problemas na avaliação da disponibilidade de P, uma vez que o método é sensível apenas a determinadas formas de P (RAIJ, 2003).

A discrepância dos resultados entre pesquisas, seja pelas correlações e ajustes relativamente pobres (apesar da significância estatística), ou pela forte tendência de agrupar resultados sem levar em consideração diferenças entre solos, plantas e ambientes, evidencia o empirismo envolvido nesta solução, confirmando que a mesma é específica para formas químicas e não para o P-lábil (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Os resultados obtidos por Raij e Quaggio, (1990) confirmam estas afirmações, uma vez que em quatro experimentos conduzidos em campo, não houve boa correlação entre o teor de P no solo avaliado pelo extrator Mehlich e a concentração do nutriente nas folhas de soja, girassol e feijão, em função da variação de pH. Estes dados demonstram a falta de sensibilidade do método para detectar aumento da disponibilidade de P no solo promovido pela elevação do pH em função da calagem. Já os valores de P extraídos pelo método da resina aumentaram em resposta à elevação do pH, assim como os teores de P nas folhas, confirmando a adequação do método.

Amer et al. (1955) foram os que inicialmente sugeriram o método de extração de P de solos por meio da resina trocadora de íons. Porém os procedimentos analíticos descritos consumiam muito tempo e apresentavam dificuldade de adoção em larga escala como um procedimento padrão, mesmo apresentando potencial para tal finalidade, em função da boa consistência teórica (RAIJ, 1978).

Os empecilhos operacionais foram descritos por Moser, Sutherland e Black (1959), porém as adaptações para a adoção como um procedimento de rotina só foram realizadas posteriormente por Cooke e Hislop (1963) e por Sibbesen (1978), e, no Brasil por Raij e Quaggio (1983). A resina de troca iônica é um produto comercializado em pequenas esferas de diâmetro em torno de 0,4 a 1,0 mm. O material é poroso graças a uma estrutura matricial de cadeias de poliestireno, tratando-se do mesmo material utilizado em deionizadores de água.

Um das principais dificuldades citadas por Raij (1978) era separar a resina do solo após o período de agitação. Este problema foi resolvido em parte pela adoção da pré-moagem do solo, permitindo a separação por peneiras (COOKE; HISLOP, 1963). No entanto o benefício que esta prática conferiu foi diminuído pela problemática operação de moer todas as amostras em um laboratório de rotina. A solução para esta questão veio com a adoção de um procedimento extremamente simples, que foi a desagregação do solo com o emprego de uma bolinha de vidro, agitando-a por 15 minutos em solução aquosa com a amostra (RAIJ, 2003). A adoção deste procedimento simples e eficaz, permitiu a separação de solo e resina por peneiras, em equipamento detalhado por Raij et al. (2001).

É importante salientar que os procedimentos analíticos em uso atualmente no Brasil são diferentes daqueles adotados em outros países, o que impossibilita a correlação direta entre os resultados. Nos Estados Unidos, por exemplo, a extração é realizada pela resina aniônica que tem suas cargas saturadas por Cl^- (BOWMAN; OLSEN, 1979; TIESEN; MOIR, 1993), enquanto que no Brasil, é empregada a mistura de resinas aniônica e catiônica, saturadas com bicarbonato de sódio (NaHCO_3 1 mol L^{-1} em pH 8,5) (RAIJ e QUAGGIO, 2001).

A presença do íon bicarbonato (HCO_3^-) apresenta diversas vantagens sendo um dos motivos do sucesso da extração de P. Sibbesen (1978) verificou que o tamponamento do pH da suspensão promovido pelo HCO_3^- foi fundamental para o bom funcionamento do método, mesmo variando-se a relação solo : resina. Outro fator importante para o sucesso da extração de P é a mistura de resina aniônica com a resina catiônica, o que reduz a força iônica da solução e a

concentração de íons divalentes da solução, fatores que aumentam a atividade de P em solução, favorecendo sua transferência do solo para a resina (VAIDYANATHAN; TALIBUDEEN, 1970).

O método oficial adotado no Brasil engloba todos estes desenvolvimentos mencionados (RAIJ; QUAGGIO; SILVA, 1986), bem como os aparelhos para a automação do método (QUAGGIO; RAIJ 2001), tornando-o plenamente executável em laboratórios de rotina.

O princípio do processo de extração pela resina permite a avaliação do P-lábil, por dissolução gradativa de compostos fosfatados da fase sólida do solo e transferência de íons ortofosfato para a resina de troca iônica, visto que não emprega nenhum reagente para a extração. (RAIJ; QUAGGIO, 2001). Por extrair apenas o P lábil (Q) via P solução (I), a resina não é sensível a nenhuma forma de P do solo que não esteja em equilíbrio com (I), como as formas não lábeis. Uma das principais vantagens da resina em relação aos outros métodos é o fato de não ser influenciada pela reação do solo (QUAGGIO; RAIJ, 1990), fato muito vantajoso para adoção em regiões que tem solos ácidos e alcalinos.

Outro procedimento relativamente novo para avaliar o P disponível no solo é o método que utiliza papel de filtro impregnado com óxido de ferro (Pi-paper ou Papel-Pi), cuja metodologia original foi descrita por Menon, Chien e Hammond (1989a). No entanto, assim como o método da resina, apresentou algumas dificuldades de adoção em grande escala pela dificuldade de seus procedimentos analíticos. O princípio de extração é semelhante ao da resina (GUO; YOST; JONES, 1996) porém, o método da resina apresenta uma grande vantagem sobre o Papel-Pi que é a presença do HCO_3^- , que tampona o meio favorecendo a extração de P (SIBBESEN, 1978; RAIJ; QUAGGIO; SILVA, 1986).

A idéia inicial deste método foi concebida na Holanda, onde os solos são predominantemente arenosos e fertilizados excessivamente, sendo desenvolvido preliminarmente para estudos de química do solo (SISSINGH, 1971; SISSINGH, 1983). Assim, a avaliação da disponibilidade dos nutrientes, principalmente os cátions, está muito relacionada ao teor extraível com água, em função dos elevados teores presentes e à baixa capacidade de troca catiônica dos solos. Com esta premissa, buscaram-se meios de extrair P simulando as reações que ocorrem normalmente nos solos (CHIEN³ – comunicação pessoal). Desta forma, devido à elevada

³ CHIEN, S.H. IFDC – An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development, Muscle Shoals, AL, EUA (Senior scientist – Retired)

interação de P com os óxidos de Fe e Al, desenvolveu-se um precipitado de óxido de Fe para adsorver P, utilizando papel de filtro como sustentação física para este precipitado

O primeiro método detalhava a preparação das tiras, desde a impregnação dos papéis de filtro com solução de cloreto de ferro até a extração (CHARDON, 2000). No entanto, estes procedimentos eram muito complexos. Zee, Fokkink e Vanriemsdijk (1987) já haviam utilizado as tiras de papel de filtro com óxidos de Fe, porém com a finalidade de estudar a cinética de dessorção de fosfato no solo e não avaliar o teor disponível de P. Segundo Aigner, Fardeau e Zapata (2002), a idéia de utilizar uma tira com óxido de Fe para adsorver o P do solo já havia sido descrita por Buscarlet (1964), no entanto dificuldades metodológicas desqualificaram este método para adoção em laboratórios de rotina. O primeiro trabalho⁴ que descreve os procedimentos visando exclusivamente a avaliação da disponibilidade de P foi desenvolvido por Menon, Chien e Hammond (1989a). Basicamente esta publicação apresenta os procedimentos de preparo das tiras, com a imersão dos papéis em solução de cloreto de ferro, seguida pela exposição dos mesmos à solução de hidróxido de amônio, visando à formação de óxido de Fe amorfo. Para a extração, tiras de 40 cm² são cortadas e agitadas por 16 horas em uma solução salina com uma amostra de 1 cm³ de solo.

Durante a extração de fósforo do solo pelo método do Papel-Pi, ocorre a remoção gradual, contínua e não seletiva do P em solução, com a dessorção do P presente na fase sólida para manter o equilíbrio solo/solução (MENON; CHIEN; HAMMOND, 1989a). Menon, Hammond e Sissing (1989) afirmam que esse método de extração é pouco influenciado pelas propriedades do solo, podendo ser utilizado para solos com características físicas, químicas e mineralógicas muito variáveis, o que o torna um método muito eficaz.

O método original tornou-se obsoleto após a otimização feita por Habib et al. (1998), que sugeriu a eliminação do emprego das telas de polietileno envolvendo as tiras e a substituição da solução de cloreto de cálcio pela de cloreto de potássio, visto que a primeira apresentava o inconveniente de subestimar os teores de P, quando da aplicação de fosfatos naturais. O papel de filtro também pode ser impregnado com óxido de Fe e Al e apresentar boa eficiência (SHARPLEY, 1991). Porém Menon, Chien e Hammond (1989b) demonstraram o problema que pode ocorrer caso o papel já após a impregnação, seja submergido na solução de hidróxido de

⁴ Na realidade foi originalmente descrito por Sissingh (1983), no entanto por esta publicação ser um relatório interno do Soil Fertility Research Institute, Haren/Holanda, nunca foi divulgado amplamente.

amônio. Devido ao elevado pH desta solução, ocorre a solubilização do Al impregnado no papel, diminuindo a eficiência da extração.

Otras diferenças encontradas na literatura dizem respeito ao tempo de agitação e ao número de tiras utilizadas por amostra. Kuo (1996) e Pierzinsky (2000) citam que cinco tiras devem ser utilizadas por amostra e que o conjunto deve ser agitado por 24 horas, e não por 16 horas como preconizado por Habib et al. (1998). Independentemente destas particularidades, o método do Papel-Pi apresenta teores de P com boa correlação com o conteúdo de P nas plantas, como demonstrado nos trabalhos de Lin, Ho e Houng, (1991) Menon, Chien e Gadalla (1991) Govere, Chien e Fox (2004), Aigner, Fardeau e Zapata (2002). Chardon (2000) menciona que em solos tropicais o método do Papel-Pi extrai teores muito baixos de P, tanto que no Brasil, seu uso é restrito a pesquisas (MIOLA et al., 2000; FRANCISCO, 2006; JORDÃO, 2006).

Além destes três métodos detalhados, outros extratores são mundialmente utilizados. O método Olsen, por exemplo, descrito pelo pesquisador de mesmo nome é o método mais utilizado no mundo (RAIJ, 2003). O emprego desta solução de NaHCO_3 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 8,5) foi relatada originalmente há mais de cinco décadas, sendo desenvolvida para ser usada preferencialmente em solos alcalinos (OLSEN et al., 1954). Por este motivo, não é comumente utilizado no Brasil.

Outro método que merece destaque por sua adoção em diversas partes do mundo é a solução extratora Bray, que tem como principal característica a extração de P ligado a Al, devido principalmente ao emprego de fluoreto de amônio (BRAY; KURTZ, 1945).

Se por um lado inúmeros trabalhos têm sido realizados para aperfeiçoar os métodos de extração de P, por outro a determinação dos teores de P em suspensão, após a extração do nutriente do solo, é praticamente universal. O método descrito por Murphy e Riley (1962) é o mais utilizado no mundo, sendo extremamente preciso e confiável. O método baseia-se na formação de compostos azuis do complexo fosfoantimonilmolibdênio, sendo que quanto maior a concentração de P na suspensão (extrato), mais intensa é a coloração, até os limites de linearidade estabelecidos pelos aparelhos que realizam esta leitura.

Masson et al. (2001) e Fischer e Miller (2004), afirmam que a determinação dos teores de P também pode ser realizada por cromatografia iônica, para evitar problemas decorrentes da hidrólise de P orgânico no extrato do método colorimétrico. Sikora et al. (2005) compararam o método colorimétrico com a determinação por espectrômetro de emissão induzido por plasma,

relatando elevado coeficiente de correlação entre ambos considerando as mais de 2000 amostras analisadas. Embora seja possível a determinação de P por outros métodos, tanto pela facilidade quanto pela conveniência, o método proposto por Murphy e Riley (1962) perdura por quase cinco décadas sem alterações relevantes.

Portanto, a complexidade da dinâmica do nutriente no solo bem como a multiplicidade de fatores faz com que a avaliação da disponibilidade de P seja um dos maiores desafios na ciência do solo. A histórica falta de concordância, bem como as particularidades de solo, induzem que este é um tema que dificilmente deixará de apresentar divergências.

2.1.3 Utilização do gesso na agricultura

A enorme extensão de solos ácidos no Brasil não encontra paralelos no mundo, os quais ocupam espaço relativamente menor apenas no semi-árido nordestino (RAIJ, 2008; OLMOS; CAMARGO, 1976). Este fato é muito importante na região de cerrados onde há quase absoluta predominância de solos com elevada saturação por Al^{3+} e baixos teores de Ca^{2+} ao longo do perfil (LOPES, 1984). Assim, trata-se de uma condição que impede o desenvolvimento radicular de muitas culturas no subsolo, significando plantas mais susceptíveis a períodos de falta de água, limitando a produtividade (MALAVOLTA, 1992).

A calagem, embora seja a prática mais eficaz de correção dos solos, tem seus efeitos restritos à camada superficial, não agindo sobre a acidez em subsuperfície, mesmo que possa atenuá-la em alguns casos (BLACK; CAMERON, 1984). O gesso, basicamente sulfato de cálcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), penetra no subsolo onde reduz o efeito tóxico que o Al^{3+} tem sobre as raízes, além de minimizar a deficiência de cálcio, que também impede o crescimento radicular (RAIJ, 1988).

Não se espera do gesso, como melhorador do ambiente radicular dos solos, efeitos tão satisfatórios como os da calagem e adubação, mas efeitos, embora modestos em cada ano, persistentes e cumulativos ao longo do tempo (RAIJ, 2007; TOMA et al., 1999). Além disso, é comum existir certa confusão entre o papel do calcário e do gesso na chamada correção do solo. Deve ficar claro que os dois produtos são muito diferentes. Além disso, o calcário tem uso universal em qualquer solo ácido, enquanto que o gesso é de uso restrito a alguns solos ácidos do mundo. Por outro lado, o gesso é usado em regiões de clima semi-árido ou árido, para a remoção

de excesso de sódio do solo, sendo este o seu maior uso na agricultura mundial (FARINA; CHANNON, 1988; ALCORDO; REHCIGL, 1993; RAIJ, 2008).

Os benefícios do uso do gesso agrícola foram descobertos no Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado - Embrapa, na década de 1970 (RAIJ, 1988). Durante um dos conhecidos veranicos do Brasil central, foi verificado em um experimento com fontes de fósforo, que no tratamento com superfosfato simples havia maior aprofundamento radicular e uma maior absorção de água das camadas mais profundas do solo. O canteiro em questão continha, também, menos Al^{3+} e mais Ca^{2+} no subsolo (RITCHEY et al., 1980; SOUSA; LOBATO; REIN, 1996).

Como o superfosfato simples difere do superfosfato triplo pelo gesso que contém, os efeitos benéficos sobre a cultura e no ambiente radicular no subsolo foram atribuídos ao gesso. (RITCHEY et al., 1980). Surgia assim, uma possível nova técnica de correção do ambiente pouco favorável às raízes existentes em subsolos ácidos. Trata-se na verdade de uma comprovação, em condições de campo, de um assunto já abordado anteriormente por Reeve e Sumner (1972), que verificaram a redução do Al^{3+} e a elevação do pH de um Oxisol após a percolação de sulfato de cálcio. Porém, este experimento foi realizado com colunas de solo e não envolveu plantas.

O gesso agrícola ou fosfogesso é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, sendo originário da reação do ácido sulfúrico com a rocha fosfatada, com o fim de se produzir ácido fosfórico (ROBINSON, 1980). A quantidade produzida depende do volume de produção da indústria de fertilizantes e pode variar de 4 até 12 toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico produzida, sendo o volume de produção anual de 4,5 milhões de toneladas no Brasil (LYRA SOBRINHO et al., 2002).

Além do fosfogesso, pode ser empregado na agricultura também a gipsita ou gesso natural. A gipsita, segundo Deer, Howie e Zussman (1966) é o mais comum entre os sulfatos observados na natureza. Este mineral ocorre principalmente em depósitos sedimentares associados com calcário, xisto, marga e argilas e em depósitos evaporativos (LYRA SOBRINHO et al., 2002).

No Brasil, as principais reservas de gipsita estão localizadas nas regiões Norte, Centro Oeste e principalmente no Nordeste, em especial na divisão entre os estados do Pernambuco e Ceará, na Chapada do Araripe, onde se encontra a maior de todas as jazidas brasileiras. Embora seja de grande importância, o gesso natural não tem sido utilizado largamente no Brasil, em parte

pela distância das jazidas até os centros de produção agrícola acarretando uma barreira logística (RAIJ, 2008).

Estes dois produtos⁵ têm atuação praticamente semelhante como condicionadores de solo, mas apresentam algumas diferenças em suas composições (KEREN; SHAINBERG, 1981; BOLAN; SYERS; SUMNER, 1992). Excluindo-se a água, ambos contêm baixo teor de impurezas, sendo constituídos de cerca de 950 g kg⁻¹ de sulfato de cálcio dihidratado (MALAVOLTA; ROMERO; LIEM, 1979). No caso do fosfogesso, as impurezas são principalmente P e F, sendo o primeiro benéfico para a nutrição vegetal e o segundo importante para a complexação do Al³⁺. A concentração de P no fosfogesso varia de acordo com a eficiência do processo de fabricação de ácido fosfórico e do tipo de rocha submetida ao ataque ácido, porém geralmente não ultrapassa 6 g kg⁻¹ (PAOLINELLI et al., 1986). Raji (2008) menciona que além do P e F, fosfogesso pode conter teores menores de arsênio, cádmio, chumbo, cobre e zinco, além de elementos radioativos, conforme detalhado nos trabalhos de Rutherford, Dudas e Samek (1994) e Mazzilli et al. (2000).

Vários mecanismos foram propostos para explicar a diminuição da toxidez por Al³⁺ com o uso do gesso, mas o principal deles seria a formação de pares iônicos em solução, como o AlSO₄⁺ (PAVAN; BINGHAN; PRATT, 1984; CARVALHO; RAIJ, 1997). Além disso, a presença de F⁻ torna o fosfogesso mais efetivo na redução da toxicidade de alumínio que a gipsita, por este ânion formar complexos mais estáveis com o Al³⁺ que o SO₄²⁻ (LINDSAY, 1979).

O gesso não apresenta propriedades de corretivos de acidez de solo (ALCORDO; RECHCIGL, 1993; SUMNER, 1993). No entanto Camargo e Raji (1989), Quaggio et al. (1993) e Caires et al. (1999, 2002, 2006) observaram aumento de pH em resposta a aplicação de gesso, principalmente nas camadas subsuperficiais. No entanto, sendo um sal neutro, seu efeito na redução da acidez pode ser explicado pelo mecanismo denominado ‘auto-calagem’ (reação de troca de ligantes), na qual a hidroxila (OH⁻) é substituída pelo SO₄²⁻, principalmente na superfície dos óxidos hidratados de Fe e Al, e seguida pela precipitação do Al³⁺ como Al(OH)₃ na solução do solo (REEVE; SUMNER, 1972).

⁵ No Brasil, decidiu-se não utilizar o termo “fosfogesso” consagrado internacionalmente e adotar o termo “gesso agrícola”, priorizando o uso e não a origem do material. No entanto as opções para o uso agrícola são o fosfogesso e a gipsita proveniente de mineração. Como estes produtos têm algumas características que afetam o uso agrícola, sempre que for necessária distinção entre ambos, serão utilizados os dois termos, fosfogesso e gipsita. Nas demais ocasiões, será apenas empregado o termo “gesso”, pressupondo que representa um dos materiais.

Porém em solos com baixos teores de Ca^{2+} , desde que com baixo teor de Al^{3+} tóxico, o principal fator responsável pela melhoria no desenvolvimento radicular promovido pelo uso do gesso é o fornecimento de Ca^{2+} (SUZUKI; BASSO; WILMS, 1992).

Além de condicionador de solo, o gesso é uma importante fonte de S as plantas. O S-SO_4^{2-} pode se comportar de diferentes maneiras dependendo das propriedades do solo, sendo pouco retido em solos com predominância de cargas elétricas negativas (PARFITT; SMART, 1978; YAMADA, 1988). Já em solos com elevados teores de óxidos de Fe e Al, o sulfato pode ser adsorvido ao solo por troca iônica ou pelo processo de troca de ligantes (RAIJ, 1991). Os teores de S são proporcionais ao conteúdo de argila e matéria orgânica, além de ser fortemente influenciado pelo pH (CHAO; HARWOOD; FANG, 1962; BARROW, 1967, 1970) normalmente se deslocando para as camadas mais profundas do solo, uma vez que movimentação do S-SO_4^{2-} no perfil é maior do que a do Ca^{2+} (CAMARGO; RAIJ 1989).

A grande movimentação do gesso no perfil do solo se deve em parte a sua solubilidade, que é de $2,5 \text{ g L}^{-1}$ (RAIJ, 1988), quase 180 vezes maior do que a do calcário. A solubilização do gesso em geral é rápida e ocorre a imediata dissociação, passando a existir o cation Ca^{2+} e o ânion SO_4^{2-} em solução, influenciando principalmente o balanço de cátions no solo. Estes íons podem ficar retidos as cargas do solo ou serem lixiviados, principalmente o sulfato, sempre carregando perfil abaixo quantidade equivalente de cátions (CHAO; HARWARD; FANG, 1962).

Devido ao fenômeno de reversibilidade de cargas elétricas nos solos altamente intemperizados, apresentando normalmente cargas positivas em subsuperfície, ânions como o nitrato podem ser retidos nesta camada (HARMAND et al., 2007). O maior aprofundamento do sistema radicular, proporcionado pelos benefícios da aplicação do gesso, pode fazer com que as plantas possam aproveitar o N nítrico, outrora considerado perdido pela lixiviação da camada superficial.

São vários os exemplos que evidenciaram o aumento de produtividade de culturas após a aplicação de gesso, comprovando a eficácia deste insumo, principalmente devido à melhoria das condições químicas do subsolo, seja em virtude da diminuição do Al^{3+} ou do fornecimento de Ca^{2+} (RITCHEY et al., 1980, QUAGGIO; DECHEN; RAIJ, 1982; SUMNER et al., 1986; MORELLI et al., 1992). Toma et al. (1999) atribuíram o aumento na produção de milho, em dois longos experimentos, às melhorias nas características químicas do solo em função da aplicação de 10 Mg ha^{-1} e 35 Mg ha^{-1} de gesso, mesmo 15 anos após a aplicação.

No entanto, fato bastante discutido na literatura é a escolha de critérios para a recomendação das doses de gesso, considerando-se as duas grandes funções do gesso como melhorador de solo: corretivo de solos sódicos e melhorador do ambiente radicular de subsolos. No primeiro caso, o alvo é principalmente a camada superficial e o objetivo é a remoção de Na^+ trocável enquanto que no segundo, o alvo é o subsolo e o objetivo é a redução da toxidez de alumínio trocável ou o fornecimento de cálcio para as plantas (RAIJ, 2008).

Visando a correção de solos sódicos a recomendação das doses de gesso é tarefa muito difícil, tanto que Rengesamy e Churchman (1999), afirmam não haver método que permita uma previsão exata das doses de gesso mais efetivas para a redução da sodicidade. De qualquer forma, a correção de solos sódicos visa deslocar o Na^+ do solo por troca iônica e removê-lo posteriormente a aplicação de gesso como Na_2SO_4 (KHOSLA; ABROL, 1972). Entretanto especial atenção deve ser destinada a qualidade da água utilizada neste procedimento, visando remover excesso de sais (SPARKS, 1995).

Solos afetados por sais e por excesso de Na^+ trocável apresentam condições inadequadas para a agricultura, sendo que 560 milhões de hectares em todo o mundo são ocupados por solos sódicos calcareos e salino sódicos (QADIR et al., 2005). Nestes casos, o gesso é o corretivo químico mais utilizado, por se encontrado facilmente em várias partes do mundo.

A quantidade de gesso necessária para a recuperação dos solos salino-sódicos pode ser determinada por um teste de laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso ou pode ser calculada em função da porcentagem de Na^+ trocável que se deseja substituir e da capacidade de troca de cátions do solo por meio de fórmulas e tabelas (BARROS et al., 2006). Os métodos de laboratório baseiam-se em variações do método de Shoonover (1952), entretanto sais solúveis interferem nesta determinação da necessidade de gesso, conforme demonstrado por Barros e Magalhães (1989).

No Brasil, para remover Na^+ do solo Pereira (1998) descreve o cálculo da necessidade de gesso como: $\text{NG} = 0,22 \text{ Na}^+$, onde NG é a necessidade de gesso, dada em Mg ha^{-1} e Na^+ é o teor de sódio trocável, expresso em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Vitti et al. (2008) afirmam que o mesmo critério para a remoção de Na^+ , seja adotado para solos com elevados teores de K^+ em virtude da aplicação de vinhaça, porém apresentam a seguinte equação para a recomendação da dose de gesso: $\text{NG} = 2,43 (\text{Ks} - 3) \times \text{CTC} \times h$, onde NG é a necessidade de gesso, dada em kg ha^{-1} ; Ks é a

porcentagem de K na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) do solo e h a camada considerada, em cm.

As primeiras recomendações das necessidades de gesso visando a melhoria do ambiente radicular em subsuperfície levavam em consideração os teores de Al^{3+} e Ca^{2+} trocáveis, e a saturação por Al nas camadas do subsolo (LOPES, 1984). Assim, por muito tempo todos os critérios de recomendação da necessidade de gesso eram baseados na suposição da estequiometria entre doses aplicadas de gesso e efeitos desejados nos teores de Ca^{2+} e Al^{3+} no solo (YAMADA, 1988). Estes são parâmetros até hoje utilizados em alguns critérios de recomendação.

Freire et al. (1984) recomendavam uso preferencialmente em combinação com o calcário dolomítico⁶, de maneira que 25% a 50% do CaO recomendado na calagem fossem empregados como gesso e o restante como calcário. No mesmo sentido a recomendação para o Estado de Goiás era a aplicação simultânea de calcário e gesso na proporção de 25 a 30% de gesso (UFG / EMGOPA, 1988). Malavolta e Kliemann (1985), sugerem, na falta de critério melhor, uso de 2 Mg ha⁻¹ de gesso para cada 10 mmol_c dm⁻³ de Al^{3+} a neutralizar, ou para cada 5 mmol_c dm⁻³ de Ca^{2+} a aumentar, considerando uma camada de 25 cm de solo.

Pavan (1988) cita o critério utilizado para determinar a necessidade de gesso em solos ácidos cultivados com frutíferas. O método foi elaborado com a preparação de um extrato do solo com água e a posterior determinação da atividade de Ca^{2+} na solução por meio de um eletrodo específico, devido as dificuldade de determinação da atividade do Ca^{2+} e à correlação existente entre este parâmetro e a condutividade elétrica. Para o diagnóstico, são relacionadas a atividade de Ca^{2+} e/ou a condutividade elétrica com a porcentagem de Ca^{2+} nos frutos ou a produção das plantas.

A adsorção de sulfato em solos, como parâmetro de recomendação da necessidade de gesso, adicional aos parâmetros relacionados ao Ca e Al, foi estudada por Yamada (1988). O autor menciona que este parâmetro, por si só, não garante que a dose para a adsorção máxima seja suficiente para provocar efeitos benéficos ao ambiente radicular. No entanto conclui que as recomendações baseadas apenas na elevação dos teores de Ca^{2+} ou para neutralizar o Al^{3+} foram

⁶ A Coordenação de fertilizantes, inoculantes e corretivos (CFIC) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa para Corretivos (IN nº 35) de 04 de julho de 2006, excluiu a classificação de calcários em dolomítico, calcítico ou magnesiano.

superiores a capacidade de adsorção máxima de sulfato na maioria das 18 amostras de solo utilizadas.

A adoção da amostragem da camada subsuperficial do solo passou a ser ferramenta indispensável para o diagnóstico da necessidade de gesso, assim como o conhecimento do teor de argila (SOUSA et al., 1992). Embora seja um atributo importante e que auxilia na recomendação das doses de gesso, o teor de argila não dá sustentação para a recomendação do uso de gesso em solos de propriedades eletroquímicas distintas com capacidades diversas de retenção de sulfato (RAIJ, 2008). Alves (2002) demonstrou menor adsorção e maior dessorção de sulfato em solos caulíníticos em relação a solos mais oxidícos. Portanto a movimento dos ânions como o sulfato nos solos está também fortemente relacionado ao tipo de mineral, não apenas sua quantidade (ALVES; LAVORENTI, 2006).

Para o Estado de São Paulo, RAIJ et al. (1997) recomendam a aplicação de gesso quando o teor de Ca^{2+} na camada de 20 a 40 cm, é inferior a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a saturação por alumínio é maior do que 40%, resultando numa recomendação única: $\text{NG} = 6 \times \text{argila}$, onde NG é a necessidade de gesso, em kg ha^{-1} , e o teor de argila é dado em g kg^{-1} .

Já em Minas Gerais, Alvarez V. et al. (1999) propuseram três formas de recomendação de gesso. A primeira é realizada com base na textura do solo e é realizada por meio de tabelas, com valores pré-estabelecidos. A segunda forma de se obter a dose adequada de gesso é baseada no teor de fósforo remanescente (P-rem)⁷. Esta recomendação partiu da observação de Sousa et al. (1992) que propuseram o uso de equações que baseadas em características dos solos e no volume de água adicionado como determinantes de maior ou menor movimentação e retenção de S e de bases no perfil. Assim, aproveitando as informações já existentes para o uso de calcário e gesso, e considerando que a análise de P-rem é procedimento de rotina nos laboratórios deste Estado, a tabela de recomendação apresenta as doses de gesso recomendadas correspondentes aos valores de P-rem. O terceiro método é realizado com base na determinação da necessidade de calagem, sendo a dose de gesso recomendada correspondente a 25% da dose prescrita pela necessidade de calagem, considerando a camada subsuperficial em questão.

A recomendação das doses de gesso para regiões sob cerrado também é realizada de posse dos resultados da análise de solo na camada subsuperficial. Segundo Sousa e Lobato (2002) há

⁷ O P-rem é a concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante uma hora a terra fina seca ao ar com solução de cloreto de cálcio ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) contendo 60 mg L^{-1} de P, na relação 1:10. O detalhamento do princípio e da utilização do método é encontrado em Alvarez V. et al. (2000).

grande probabilidade de resposta e o gesso deve ser aplicado quando o teor de Ca^{2+} for menor que $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ou se a saturação por alumínio for maior que 20%. Também é necessário conhecer o teor de argila, sendo que para culturas anuais a recomendação da dose de gesso (DG), em kg ha^{-1} , é dada pela fórmula: $\text{DG} = 50 \times \text{argila} (\%)$, para culturas anuais; e: $\text{DG} = 75 \times \text{argila} (\%)$, para culturas perenes. De acordo com os autores, as doses apresentam efeito residual de no mínimo cinco anos, podendo estender-se por até 15 anos dependendo do solo.

Vitti et al. (2008) apresentam recomendação, principalmente visando a cultura da cana-de-açúcar, mas podendo ser utilizada para outras culturas, que considera a elevação da saturação por bases da camada de 20 a 40 cm ou 25 a 50 cm. Demattê (2005) apresenta tabela de recomendação de doses de gesso para cana-de-açúcar baseada na mesma premissa.

Embora experimentos apresentem respostas em termos de produção, sobretudo para gramíneas, aplicações de elevadas doses como, por exemplo, 9 Mg ha^{-1} (CAIRES; FELDHAUS; BLUM, 2001; CAIRES et al., 2004), 12 Mg ha^{-1} (CAIRES et al., 1998) e até 35 Mg ha^{-1} (TOMA et al., 1999), as recomendações baseadas nos critérios mencionados geralmente não ultrapassam 8 Mg ha^{-1} . Mesmo assim são encontrados trabalhos com doses muito mais elevadas, tais como Mays e Mordvelt (1986) de 112 Mg ha^{-1} .

Uma prática que tem sido adotada por produtores, particularmente do sul de Minas Gérias, consiste na aplicação de elevadas doses de gesso, tais como 40 e 60 Mg ha^{-1} , em faixa na linha de plantio, denominada “Irrigação Branca” (ROMERO⁸ - comunicação pessoal). São escassas as informações sobre esta técnica, no entanto trata-se de um procedimento que tem sido adotado na região mencionada, resultando em melhorias na produtividade, principalmente para cafeicultores.

Outro emprego interessante do gesso na agricultura é como condicionador de esterco. Vitti et al. (2008) demonstram que durante o processo de cura de esterco ocorrem perdas de até 56% de amônia, enquanto que a adição de superfosfato simples, que contém aproximadamente 50% de gesso em sua composição, pode diminuir estas perdas para apenas 3%. Ainda de acordo com os mesmo autores, outras vantagens da combinação de gesso com esterco são o enriquecimento com nutrientes, a redução de odores e o fato de auxiliar no controle de enfermidades animais.

⁸ ROMERO, J.C.P., Engenheiro Agrônomo - Consultor e produtor de café. Ouro Fino, MG.

No caso da compostagem, Vitti e Luz (1997) sugerem que para cada 1000 kg de compostos orgânicos deve ser aplicada a dose de 100 kg de gesso. O efeito do gesso na redução nas perdas de amônia em esterco durante o processo de compostagem também foi demonstrada por Gloria et al. (1991) e Prochnow et al. (1995).

Em linhas gerais, o uso do gesso tem sido recomendado com sucesso para as seguintes situações: (i) promover a melhoria no ambiente radicular em subsuperfície, diminuindo a saturação por alumínio e fornecendo cálcio e enxofre; (ii) Correção de solos sódicos, importante principalmente na região nordeste; (iii) redução nas perdas de amônia durante o processo de compostagem; e, (vi) lixiviação do excesso de K^+ em canaviais após a aplicação de vinhaça.

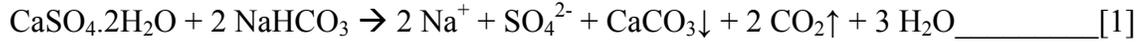
2.1.4 Interferência do gesso na avaliação da disponibilidade de fósforo

Uma das diferenças entre o fosfogesso e a gipsita é a presença de pequenas quantidades de P no primeiro. Assim, a aplicação de doses de fosfogesso implica na adição de pequenas quantidades de P, conforme, por exemplo, observado por Caíres et al. (2003) no teor de P-Mehlich.

No Brasil, não há relatos de problemas na extração do P disponível causados pela presença de gesso no solo e mesmo na literatura internacional são escassos os dados sobre a interação entre a disponibilidade de P e a presença de gesso. No entanto, Al-Merey et al. (2004) compararam a disponibilidade de P por três métodos (resina aniônica em tiras, Olsen e Papel-Pi) em solos calcareos da Síria tratados com fosfato monocalcico (MCP) e fosfato diamônico (DAP). Os resultados demonstraram que de forma geral houve boa correlação entre os métodos, porém em um dos solos, que apresentava expressivo teor de $CaSO_4$, os métodos da resina e Olsen subestimaram consideravelmente a avaliação do P disponível, enquanto que o método do Papel-Pi não foi influenciado pelo $CaSO_4$. No solo em questão, que continha aproximadamente 17% de $CaCO_3$ e 30% de $CaSO_4$, os teores de P seguiram a seguinte ordem P-Papel-Pi > P-Olsen > P-resina. Nos outros três solos estudados, que continham de 8% a 20% de $CaCO_3$ mas não continham $CaSO_4$, a ordem foi P-resina > P-Papel-Pi > P-Olsen.

Portanto, de acordo com Al-Merey et al. (2004), o HCO_3^- da solução Olsen (0,5 M $NaHCO_3$) e da resina pode ter reagido com o $CaSO_4$ e assim afetado negativamente a extração por estes métodos. As reações citadas pelos autores e reproduzidas abaixo, sugerem além da

produção de bolhas de ar (CO₂), a formação de carbonato de cálcio (CaCO₃), que pode ter precipitado e/ou adsorvido o P solúvel proveniente do MCP e DAP.



Embora o princípio de extração pelo método Papel-Pi seja similar ao método da resina (KUO, 1996), o primeiro não apresenta em sua composição HCO₃⁻ e, foi a este fato que Al-Merey et al. (2004) atribuíram a não interferência do CaSO₄ na avaliação da disponibilidade de P por este método. Assim, concluíram que não é recomendável utilizar o método da resina (HCO₃⁻) e Olsen para solos com consideráveis quantidades de CaSO₄. Nestes casos sugerem a utilização do método do Papel-Pi ou da resina aniônica na forma clorídrica. No entanto os autores não apresentaram informações detalhadas destes mecanismos bem como sua implicância agrônômica.

Chien, Austin e Calvo (2009) apresentaram evidências físicas da formação de CaCO₃ conforme indicado nas reações [1] e [2], confirmando as conclusões de Al-Merey et al. (2004). Os autores utilizaram a técnica de Difractometria de Raio-X (DRX) para comprovar a formação do precipitado CaCO₃, visto que também observaram problemas na extração do P disponível pelos métodos da resina-HCO₃⁻ e Olsen, novamente em solos calcareos.

Para tal, Chien, Austin e Calvo (2009), utilizaram dois tratamentos, não envolvendo solo, sendo: (1) 15 g de CaSO₄·2H₂O + 450 mL de H₂O e, (2) 15 g de CaSO₄·2H₂O + 450 mL de NaHCO₃. Após a agitação e filtragem destas misturas, foram preparadas as lâminas para a análise de DRX. O difratograma demonstrou o pico d = 9,56Å (2θ = 11,8) para o tratamento (1), característico da gipsita (CaSO₄·2H₂O). O difratograma referente ao tratamento (2) apontou pico d = 3,04Å (2θ = 29,4), identificando assim a formação de calcita (CaCO₃) após a reação do CaSO₄ com o HCO₃⁻, conforme preconizado por Al-Merey et al. (2004).

Além disso, em experimento de casa de vegetação cultivando-se milho e trigo, Chien, Austin e Calvo (2009), observaram que não houve correlação entre os teores de P-Olsen e P-resina com a produção de massa seca e o P acumulado por estas culturas, diferentemente do que foi observado para os teores de P-Papel-Pi, evidenciando a falta de sensibilidade dos métodos da

resina e Olsen em avaliar a disponibilidade de P em solos que receberam aplicação de elevados teores de gesso ou em solos gipsíferos⁹, como o reportado no trabalho de Al-Merey et al. (2004).

A dinâmica do P em solos gipsíferos está muito relacionada às frações de P-Ca. Muhmmad and Jones (1992) correlacionaram os atributos de vários solos gipsíferos com as principais frações inorgânicas de P, e concluíram que a fração de P-Ca é aquela que mais influi na dinâmica do nutriente, correspondendo até a 78% do P total destes solos. No entanto, os autores afirmam que mesmo com elevado teor de P total, a fração disponível sempre é pequena, devido à baixa solubilidade dos compostos formados, fazendo com que sejam constantemente fertilizados.

Diminuições nos teores de P disponível em função da adição de gesso já haviam sido relatadas anteriormente por Chhabra, Abrol e Singh (1981) e mais recentemente por Misra, Tiwari e Prasad (2007). No entanto, estes autores não apresentaram discussões detalhadas sobre os mecanismos envolvidos, até mesmo por este não ter sido o objetivo principal destes trabalhos.

Chhabra, Abrol e Singh (1981) estudaram a dinâmica do P após aplicação de doses de até 20 Mg ha⁻¹ de gesso, visando a correção de solos sódicos. Os autores observaram diminuição significativa nos teores de P-Olsen após a aplicação dos tratamentos com gesso, sugerindo para tal fato, as seguintes hipóteses: formação de compostos de P menos solúveis, principalmente P-Ca; remoção pelas plantas de arroz cultivadas no experimento ou lixiviação para camadas mais profundas, na forma de fosfato de sódio.

Porém, Chhabra, Abrol e Singh (1981), não apresentaram nenhuma forte evidência de que pelo menos um destes processos de fato tenha ocorrido, a ponto de causar tamanha diminuição dos teores de P-Olsen. Os mesmos resultados foram observados em um experimento de laboratório com colunas de solo, confirmando que apenas as plantas não poderiam ter provocado tal efeito. Por fim, concluem que a movimentação de P no perfil pode reduzir a fertilidade do solo após a correção da sodicidade.

Em trabalho que objetivou estudar as transformações/movimentação de P e a disponibilidade do nutriente após a correção de solos afetados por sais, Misra, Tiwari e Prasad (2007) também observaram a diminuição dos teores de P-Olsen após a adição de gesso. Da mesma forma, a explicação para tal fenômeno foi a transformação de frações de P para forma

⁹ Solos com alto teores de sulfato de cálcio são solos com caráter gipsico ou petrogipsico, ocorrem em regiões desérticas e não foram descritos ainda no Brasil com grande representação geográfica. Solos gipsíferos ocupam aproximadamente 4800, 8000 e 12000 km² no Iraque, Síria e China, respectivamente (FAO, 1990).

menos solúveis, portanto menos disponíveis. Além disso, Misra, Tiwari e Prasad (2007) demonstraram a rápida lixiviação de P perfil abaixo, resultando na diminuição dos teores de P-Olsen na camada superficial do solo. Para justificar a diminuição dos teores de P-Olsen, Misra, Tiwari e Prasad (2007) não fizeram menção ao trabalho de Al-Merey et al. (2004), que propuseram diferentes e detalhadas explicações para tal fenômeno.

Independentemente das hipóteses sugeridas nestes trabalhos, todos estes resultados sugerem que a presença de gesso, de alguma forma, pode interferir a disponibilidade de P. Os estudos que relataram a interferência do gesso na disponibilidade de P, invariavelmente, não envolveram solos ácidos, embora sejam estes os solos que apresentam as maiores potencialidades para a aplicação de gesso como melhorador de solos. Cabe ressaltar que este problema metodológico parece estar relacionado apenas a extratores que empregam o íon HCO_3^- , como é o caso da resina de troca iônica.

Diante dos resultados obtidos, principalmente por Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009), especula-se se a disponibilidade de P poderia ser subestimada caso o gesso permaneça na camada superficial do solo por muito tempo, provocado por dose relativamente alta ou se o intervalo for curto entre a aplicação e a amostragem. Outra situação problemática pode ocorrer durante um período de seca acentuada, que limita a dissolução do gesso aplicado na superfície do solo.

Desta forma, observa-se a necessidade de estudos científicos para a elucidação de questionamentos sobre a eficácia de alguns extratores em condições adversas, tais como as citadas por Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009), embora não haja no Brasil solos semelhantes aos que estes autores mencionaram. Soma-se a isto, o fato de que não existem estudos relatados na literatura para esta situação em solos ácidos, onde o gesso de fato é amplamente utilizado.

2.2 Hipóteses

Diante do exposto as hipóteses testadas foram: (i) métodos de extração de P que empregam o íon HCO_3^- podem subestimar os teores de P devido à presença de gesso em solos ácidos; (ii) O método do Papel-Pi pode avaliar a disponibilidade de P satisfatoriamente em solos ácidos, independentemente da presença ou não de gesso; (iii) Resina, Papel-Pi e Mehlich são métodos que apresentam diferentes comportamentos em solos ácidos tratados com gesso e fontes de P com solubilidade variada.

2.3 Objetivos

Objetivou-se com o presente projeto estudar a interferência do gesso na disponibilidade de fósforo extraído por três métodos. Objetivou-se também avaliar a eficiência do método do Papel-Pi, comparado com os métodos mais utilizados no Brasil, em amostras de solos que receberam gesso e fontes de P.

2.4 Material e métodos

O presente projeto foi desenvolvido por meio de quatro experimentos, sendo: Experimento I - Disponibilidade de fósforo em amostras de quatro solos, avaliada pelo método da resina de troca iônica, após a aplicação de doses de fosfogesso; Experimento II - Teores de fósforo em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses fosfogesso, gipsita ou gesso puro; Experimento III - Disponibilidade de fósforo em amostras de cinco solos após a adição de fosfogesso e fontes de fósforo e; Experimento IV - Correlação entre a produção de massa seca e acúmulo de fósforo no milho e o teor de fósforo no solo em função de doses de fosfogesso.

Nos itens a seguir, são descritos os experimentos bem como o detalhamento dos procedimentos adotados nas avaliações e na caracterização das amostras de solos e dos insumos utilizados.

2.4.1 Caracterização das amostras de solo

A caracterização química das amostras de solo utilizadas nos experimentos foi realizada seguindo os procedimentos descritos por Raij et al. (2001), e a caracterização granulométrica foi realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

O pH foi determinado em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) na relação de 1:2,5 (solo:solução). O P, K, Ca e Mg foram extraídos com a resina de troca iônica, sendo que a quantificação do P e K foi realizada por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. A determinação do Ca e do Mg foi realizada por espectrometria de absorção atômica. A extração de S foi efetuada com solução de fosfato de cálcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 mol L⁻¹), seguida pela quantificação por turbidimetria. Os micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram extraídos com solução de ácido dietileno-triaminopentacético (DTPA) e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. A extração do boro (B) foi realizada com água quente, com aquecimento em microondas e a quantificação pelo método colorimétrico. A extração do carbono orgânico foi efetuada pelo dicromato de sódio e a determinação pelo método colorimétrico.

O teor de carbonato de cálcio foi obtido após o ataque das amostras com HCl, seguido da titulação do excesso de ácido com solução padronizada de NaOH (EMBRAPA, 1997).

2.4.2 Métodos de extração de fósforo

Em todos os experimentos avaliou-se o teor de P disponível nas amostras de solo. Para tal, foram utilizados os métodos da resina de troca iônica [P-resina] (RAIJ; QUAGGIO, 2001); Mehlich-1 [P-Mehlich] (EMBRAPA, 1999) e tiras impregnadas com óxido de ferro [P-Papel-Pi] (MENON; CHIEN; HAMMOND, 1989a, modificado por HABIB et al., 1998).

No método da resina de troca iônica empregou-se uma mistura de volumes iguais de resinas aniônica e catiônica, respectivamente Amberlite IRA-400 (1,3 mmol cm⁻³) e Amberlite IR-120 (2,0 mmol cm⁻³), previamente passadas em peneira com abertura de 0,5 mm. Neste método, a resina passa pelas etapas de preparação, tratamento para a utilização e recuperação

após o uso. Para o uso diário, a resina tem suas cargas saturadas com bicarbonato de sódio (NaHCO_3 1 mol L^{-1} - pH 8,5).

Para extração foram transferidos 2,5 cm^3 de terra para frasco plástico de 80 mL, acrescentando-se 25 mL de água destilada e uma bolinha de vidro para promover a desagregação da amostra, agitando-se por 15 minutos. Em seguida, 2,5 cm^3 da mistura das resinas foram adicionados, agitando-se por 16 horas em mesa agitadora circular-horizontal (220 rpm). Após esse período a resina foi lavada com água destilada para a separação da terra. Para extrair o P retido na resina, foram utilizados 50 mL de solução de cloreto de amônio em ácido clorídrico (NH_4Cl 0,8 mol L^{-1} + HCl 0,2 mol L^{-1}), deixando-se em repouso por 30 minutos para evolução do gás carbônico e agitando-se na seqüência por uma hora, quando então o extrato apresentava-se pronto para a determinação de P.

A solução extratora Mehlich-1 é constituída por uma mistura de ácidos diluídos (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}). O método consiste na agitação de 2,5 cm^3 de terra e 25 mL da solução Mehlich, em frascos plásticos, por dez minutos em agitador horizontal-circular (220 rpm). Após este período, as amostras foram deixadas decantando por 12 horas e posteriormente retirada uma alíquota para determinação de P.

O método que emprega tiras de papel de filtro impregnadas com óxido de ferro (Papel-Pi) foi originalmente detalhado por Menon, Chien e Hammond (1989), sendo posteriormente otimizado por Habib et al. (1998). Primeiramente realizou-se a preparação das tiras, com o emprego de soluções de cloreto de ferro hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - 0,65 mol L^{-1}) e de hidróxido de amônio (NH_4OH - 2,7 mol L^{-1}).

Inicialmente os papéis de filtro (Schleicher and Schuell [S & S] nº 589-WH / 18,5 cm de diâmetro) foram mergulhados na solução de FeCl_3 por aproximadamente dois minutos, assegurando-se que todo o papel encontrava-se submerso. Posteriormente os papéis foram secos em temperatura ambiente (cerca de 24° C) por uma hora. A etapa seguinte da preparação das tiras é denominada “amonificação”, que consiste na exposição do papel de filtro impregnado com o FeCl_3 à solução de NH_4OH . Para tal, esta solução foi colocada em bandeja, sobre a qual foi disposta uma tela de nylon com os papéis, evitando o contato direto dos mesmos com a solução. Para promover maior uniformidade e velocidade na reação, foi utilizado um agitador magnético fazendo com que a solução permanecesse em constante agitação. A conclusão desta etapa é evidenciada pela mudança na coloração dos papéis, passando do amarelo para alaranjado. Assim,

objetivou-se a formação de óxido de ferro amorfo no papel de filtro, que foi cortado em tiras de 40 cm² (10 x 2 cm) para a extração de P.

Com as tiras já prontas, foram adicionados 40 mL de solução de cloreto de potássio (KCl 0,02 mol L⁻¹), 1 cm³ de terra, e uma tira de Papel-Pi a um frasco plástico de 100 mL com tampa, e colocados para agitar por 16 horas em mesa agitadora circular-horizontal (180 rpm). Após este período as tiras foram lavadas com água destilada para retirar partículas de solo aderidas, e colocadas em outro frasco contendo 40 mL de uma solução ácida (H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹), com agitação de uma hora para extração do P adsorvido às tiras. Após a filtragem o extrato estava pronto para a determinação de P.

A determinação dos teores de P nos extratos (nos três métodos) foi realizada pelo método colorimétrico (MURPHY; RILEY, 1962). Este método baseia-se na formação de espécies de cor azul do complexo fosfoantimonilmolibdênio, em meio sulfúrico e com ácido ascórbico como redutor. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (FEMTO[®] 432) a 660 nm, utilizando-se cubetas de 4 mL.

2.4.3 Capacidade máxima de adsorção de fósforo

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) foi determinada por meio da agitação, por 24 horas, de amostras de solo com soluções contendo concentrações crescentes de P, com relação solo:solução de 1:10. Foram pesados 2,0 g de terra e adicionados 20 mL de soluções de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo concentrações de P de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mg L⁻¹, na forma de KH₂PO₄, com três repetições para cada amostra (OLSEN; WATANABE, 1957; GRAETZ; NAIR, 2000). Após o período de agitação, as amostras foram centrifugadas e a concentração de P no sobrenadante foi determinada pelo método espectrofotométrico (MURPHY; RILEY, 1962)

O P adsorvido foi calculado pela diferença entre as quantidades de P adicionadas e as quantidades que ficaram em equilíbrio/sobrenadante, obtendo-se a curva de adsorção. Os dados obtidos foram ajustados ao modelo da isoterma de Langmuir, para o cálculo das constantes relacionadas à adsorção máxima ($\mu\text{g g}^{-1}$) e à energia de ligação entre a superfície adsorvente e o adsorvato (L mg^{-1}).

2.4.4 Caracterização dos insumos

Os insumos utilizados para a aplicação dos tratamentos foram: fosfogesso – empregado nos quatro experimentos; gesso natural (gipsita) – empregado no experimento II; gesso puro (reagente analítico) – empregado no experimento II; superfosfato triplo – empregado nos experimentos II, III e IV; e fosfato natural reativo de Arad / Israel – empregado nos experimentos II e III.

A caracterização dos insumos seguiu a metodologia oficial de análises de fertilizantes, corretivos, inoculantes, substratos e contaminantes do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007). Para o fosfogesso e gipsita, foram avaliados os teores de Ca, S, e a umidade, e, assim como no superfosfato triplo e no fosfato natural reativo, foram analisadas quatro frações de P-P₂O₅ (Tabela 2). No caso do gesso puro, por se tratar de um reagente analítico, não foram realizadas análises.

Tabela 2 - Caracterização dos insumos

Insumo	Teor de P ₂ O ₅				P total	Ca ²⁺	S-SO ₄ ²⁻	Umidade
	Total ¹	AC ²	CNA+H ₂ O ³	H ₂ O ⁴				
	%							
Fosfogesso	0,7	0,4	0,6	0,2	0,3	23,2	18,1	16,1
Gipsita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,8	17,4	21,2
Gesso puro*	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	25,9*	20,7*	n.a.
Superfosfato triplo	44,9	43,0	42,4	41,3	19,6	n.a.	n.a.	n.a.
Fosfato natural reativo	31,5	8,9	4,8	0,3	13,8	n.a.	n.a.	n.a.

¹ Solubilizado com ácido clorídrico (1:1);

² Fração solúvel em ácido cítrico (2%);

³ Fração solúvel em citrato neutro de amônio + água (9:1);

⁴ Fração solúvel em água;

* Informações fornecidas pelo fabricante

n.a. Não analisado

No caso do Ca foi feita extração ácida do nutriente contido na amostra e posteriormente realizada a titulação do mesmo com solução padronizada de ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA). A determinação do teor de S consistiu na extração ácida do nutriente na forma de sulfato (S-SO₄²⁻), seguida de precipitação como sulfato de bário e por fim a pesagem deste precipitado. A extração do teor total de P₂O₅, que inclui todas as formas químicas contidas na amostra, foi realizada utilizando-se HCl (relação 1:1). Outras duas frações foram extraídas com soluções ácidas diluídas, sendo uma em solução de citrato neutro de amônio (CNA + H₂O –

relação 9:1) e outra em solução de ácido cítrico (AC – 2%). Por fim, foi realizada a extração do P_2O_5 solúvel em água.

2.4.5 Experimentos

2.4.5.1 Experimento I: Disponibilidade de fósforo em amostras de quatro solos, avaliada pelo método da resina de troca iônica, após a aplicação de fosfogesso

Foi conduzido um experimento de incubação para auxiliar na definição dos tratamentos a serem adotados nos experimentos II, III e IV, utilizando-se amostras de quatro solos (Tabela 3) contendo teores de P variando de médio a alto (RAIJ et al., 1997).

Foram pesados 40 g de cada amostra de solo, com três repetições, os quais receberam doses de 0, 1, 2, 4, 25 e 50 g kg^{-1} de fosfogesso, equivalentes à 0, 2, 4, 8, 50 e 100 Mg ha^{-1} , respectivamente. A escolha dos tratamentos visou simular as doses de gesso normalmente recomendadas (RAIJ et al., 1997; EMBRAPA, 1997; RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ V., 1999; SOUSA; LOBATO, 2002; VITTI et al., 2008; RAIJ, 2008), assim como aquelas empregadas na técnica de “Irrigação branca” (ROMERO¹⁰ – comunicação pessoal).

Tabela 3 - Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento I

Amostra	pH	C.O. ¹¹	P _{resina}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				
Solo 1	4,9	12	21	1,1	4	3	1	14
Solo 2	5,6	12	25	0,4	5	2	0	2
Solo 3	5,0	11	46	1,2	7	3	1	9
Solo 4	5,4	12	47	0,4	10	5	0	4

¹¹ C.O.: Carbono orgânico

As unidades experimentais foram acondicionadas em copos plásticos com tampa e incubadas por 25 dias em temperatura ambiente e com umidade mantida em 70% da capacidade máxima de retenção de água. Ao final do período foram secas em estufa de circulação forçada

¹⁰ ROMERO, J.C.P., Engenheiro Agrônomo - Consultor e produtor de café. Ouro Fino, MG.

de ar a 50° C, para a determinação dos teores de P. Optou-se por avaliar o teor de P pelo método da resina de troca iônica (RAIJ; QUAGGIO, 2001), por este método empregar NaHCO₃ na saturação das cargas da resina, o mesmo que pode reagir com o CaSO₄ afetando negativamente a extração de P (Al-MEREY et al., 2004; CHIEN, AUSTIN; CALVO, 2009).

2.4.5.2 Experimento II: Teores de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses de fosfogesso, gipsita ou gesso puro

Foram estudadas amostras, da camada de 0 a 0,2 m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo, as quais foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 50° C, e posteriormente passadas em peneira de 2 mm de abertura, visando à eliminação de torrões e materiais inertes, para a caracterização química e física. Os resultados da análise granulométrica apontaram valores de 760, 60 e 180 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. O resultado da análise química revelou os valores de 5,9 para pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, 12 mg dm⁻³ de S, 1,2, 24, 13, 13 e 51,2 mmol_c dm⁻³ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, e CTC, respectivamente. Os teores de P, avaliados pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, foram 11, 16 e 8 mg dm⁻³, respectivamente

Foram pesados 40 g da amostra de solo, os quais receberam os tratamentos com fosfogesso, gesso natural, gesso puro, superfosfato triplo e fosfato natural reativo, conforme detalhado na Tabela 4. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, constituindo um fatorial completo 6 x 3 x 3, sendo 6 doses de gesso, 3 tipos de gesso e 3 fontes de fósforo, com três repetições, totalizando 162 unidades experimentais.

As unidades experimentais foram acondicionadas em copos plásticos com tampa e incubadas por 25 dias em temperatura ambiente e com umidade mantida em 70% da capacidade máxima de retenção de água. Ao final deste período foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 50° C para a determinação dos teores de P, realizada pelos métodos da resina de troca iônica (RAIJ; QUAGGIO, 2001), Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999) e Papel-Pi (MENON; CHIEN; HAMMOND, 1989, modificado por HABIB et al., 1998). Também foram avaliados os valores de pH em CaCl₂ e os teores de Ca²⁺ trocável (resina).

Tabela 4 - Tratamentos propostos para a o experimento II

Tratamento	Gesso ^{VI}		Dose de P	Fonte de P
	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	
1	0	0,0	0	-
2	5	2,5	0	-
3	25	12,5	0	-
4	50	25,0	0	-
5	100	50,0	0	-
6	150	75,0	0	-
7	0	0,0	100	Fosfato natural reativo
8	5	2,5	100	Fosfato natural reativo
9	25	12,5	100	Fosfato natural reativo
10	50	25,0	100	Fosfato natural reativo
11	100	50,0	100	Fosfato natural reativo
12	150	75,0	100	Fosfato natural reativo
13	0	0,0	100	Superfosfato triplo
14	5	2,5	100	Superfosfato triplo
15	25	12,5	100	Superfosfato triplo
16	50	25,0	100	Superfosfato triplo
17	100	50,0	100	Superfosfato triplo
18	150	75,0	100	Superfosfato triplo

^{VI} Fosfogesso, gipsita ou gesso puro

2.4.5.3 Experimento III: Disponibilidade de fósforo em amostras de cinco solos após a adição de fosfogesso e fontes de fósforo

Foram estudadas amostras, da camada de 0 a 0,2 m, de cinco solos, Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Neossolo Quartzarênico (RQ), Vertissolo Hidromórfico (VG) e Neossolo Flúvico (RY), com propriedades químicas e físicas distintas (Tabelas 5 e 6). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 50° C, e posteriormente passadas em peneira de 2 mm de abertura, visando à eliminação de torrões e materiais inertes, para posterior caracterização.

Foram pesados 40 g de cada amostra de solo, os quais receberam os tratamentos com fosfogesso, superfosfato triplo e fosfato natural reativo, conforme detalhado na Tabela 7. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, constituindo um fatorial

completo 8 x 3 x 2 para cada amostra de solo estudada, sendo 8 doses de fosfogesso, 3 doses de fósforo e 2 fontes de fósforo, com três repetições, totalizando 144 unidades experimentais.

Tabela 5 - Caracterização química das cinco amostras de solo

Amostra ¹	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CTC	V	S	P			CaCO ₃
									Mehlich	Resina	Papel-Pi	
	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³					%	mg dm ⁻³			g kg ⁻¹	
LVA	5,9	1,2	24	13	*	51,2	75	12	16	11	8	0,85
NV	6,3	5,0	58	15	*	98,0	80	15	8	12	5	1,49
RQ	4,3	0,4	5	1	*	34,4	19	11	34	13	8	*
VG	7,3	3,3	190	40	3	244,3	97	10	21	23	6	4,92
RY	6,7	4,2	44	23	12	92,2	89	194	34	16	14	0,50

¹ LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; NV: Nitossolo Vermelho; RQ: Neossolo Quartzarênico; VG: Vertissolo Hidromórfico e; RY: Neossolo Flúvico.

* Resultado < 0,1.

Tabela 6 - Classificação, local de coleta e caracterização física das cinco amostras de solo

Classificação	Local de coleta	Areia	Silte		Argila
			g kg ⁻¹		
Latossolo Vermelho-Amarelo [LVA]	Piracicaba, SP	760	60	180	
Nitossolo Vermelho [NV]	Piracicaba, SP	360	80	560	
Neossolo Quartzarênico [RQ]	Luís Antônio, SP	920	20	60	
Vertissolo Hidromórfico [VG]	Juazeiro, BA	470	130	400	
Neossolo Flúvico [RY]	Serra Talhada, PE	570	250	180	

As unidades experimentais foram acondicionadas em copos plásticos com tampa e incubadas por 25 dias em temperatura ambiente e com umidade mantida em 70% da capacidade máxima de retenção de água. Ao final deste período foram secas ao ar para a determinação dos teores de P, realizada pelos métodos da resina de troca iônica (RAIJ; QUAGGIO, 2001), Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999) e Papel-Pi (MENON; CHIEN; HAMMOND, 1989 modificado por HABIB et al., 1998).

Tabela 7 - Tratamentos propostos para o experimento III

Tratamento	Dose de P		Fosfogesso		Tratamento	Dose de P		Fosfogesso	
	mg kg ⁻¹	Fonte de P ¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	Fonte de P ²	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹
1	0	-	0	0,0	25	0	-	0	0,0
2	0	-	5	2,5	26	0	-	5	2,5
3	0	-	10	5,0	27	0	-	10	5,0
4	0	-	25	12,5	28	0	-	25	12,5
5	0	-	50	25,0	29	0	-	50	25,0
6	0	-	75	37,5	30	0	-	75	37,5
7	0	-	100	50,0	31	0	-	100	50,0
8	0	-	150	75,0	32	0	-	150	75,0
9	50	FNR	0	0,0	33	50	SFT	0	0,0
10	50	FNR	5	2,5	34	50	SFT	5	2,5
11	50	FNR	10	5,0	35	50	SFT	10	5,0
12	50	FNR	25	12,5	36	50	SFT	25	12,5
13	50	FNR	50	25,0	37	50	SFT	50	25,0
14	50	FNR	75	37,5	38	50	SFT	75	37,5
15	50	FNR	100	50,0	39	50	SFT	100	50,0
16	50	FNR	150	75,0	40	50	SFT	150	75,0
17	100	FNR	0	0,0	41	100	SFT	0	0,0
18	100	FNR	5	2,5	42	100	SFT	5	2,5
19	100	FNR	10	5,0	43	100	SFT	10	5,0
20	100	FNR	25	12,5	44	100	SFT	25	12,5
21	100	FNR	50	25,0	45	100	SFT	50	25,0
22	100	FNR	75	37,5	46	100	SFT	75	37,5
23	100	FNR	100	50,0	47	100	SFT	100	50,0
24	100	FNR	150	75,0	48	100	SFT	150	75,0

¹ FNR: Fosfato natural reativo;² SFT: Superfosfato triplo.

2.4.5.4 Experimento IV: Correlação entre a produção de massa seca e acúmulo de fósforo pelo milho e o teor de fósforo no solo em função de doses de fosfogesso

Para o experimento IV foi utilizada uma amostra da camada de 0 a 0,2 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), coletada nas dependências da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP. Esta amostra também foi utilizada nos experimentos II e III. Assim, foi conduzido um experimento em vasos cultivando-se milho,

em condições controladas (casa de vegetação), no período compreendido entre outubro de 2007 e fevereiro de 2008.

A amostra foi seca ao ar e posteriormente passada em peneira de 2 mm de abertura, visando à eliminação de torrões e materiais inertes. A caracterização granulométrica revelou 760, 60 e 180 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, sendo classificado como um solo de textura média-arenosa (EMBRAPA, 1997). Os resultados obtidos na análise química foram 5,9 para pH em CaCl₂, 12 g dm⁻³ de carbono orgânico, 12 mg dm⁻³ de S, 1,2, 24, 13, 13 e 51 mmol_c dm⁻³ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al e CTC, respectivamente. Para os micronutrientes analisados, os teores foram 0,2, 0,4, 25, 3,7 e 1,4 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Foram utilizados vasos plásticos de 3,5 L de capacidade, preenchidos com 3,0 kg de terra. Como a análise química revelou a saturação por bases de 75%, considerada adequada para o cultivo do milho (RAIJ et al., 1997), não se fez necessária calagem para a instalação do experimento.

Desta forma, foram adicionados os tratamentos com fosfogesso e posteriormente superfosfato triplo (Tabela 8). O delineamento experimental adotado foi de blocos completos casualizados, constituindo um fatorial 9 x 2, sendo 9 doses de fosfogesso, 2 doses de fósforo, com quatro repetições (blocos), totalizando 72 unidades experimentais.

Tabela 8 - Tratamentos propostos para o experimento IV

Tratamento	Dose de P		Fosfogesso		Tratamento	Dose de P ¹		Fosfogesso	
	mg kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
1	0	0,0	0,0		10	50	0,0	0,0	
2	0	1,2	0,6		11	50	1,2	0,6	
3	0	2,4	1,2		12	50	2,4	1,2	
4	0	5,0	2,5		13	50	5,0	2,5	
5	0	10,0	5,0		14	50	10,0	5,0	
6	0	25,0	12,5		15	50	25,0	12,5	
7	0	50,0	25,0		16	50	50,0	25,0	
8	0	100,0	50,0		17	50	100,0	50,0	
9	0	150,0	75,0		18	50	150,0	75,0	

¹ Nos tratamentos 10 a 18, foi utilizado Superfosfato triplo como fonte de P.

Para a adição do fosfogesso, o solo contido nos vasos foi espalhado sobre um saco plástico e as quantidades correspondentes às doses foram misturadas. Com os sacos plásticos

fechados, procedeu-se a homogeneização com a agitação por 60 segundos e, finalmente o retorno do solo aos vasos.

Para promover a reação do fosfogesso com o solo, as unidades experimentais permaneceram incubadas por 15 dias, com a umidade mantida em 70% da capacidade máxima de retenção de água. Após este período, o solo foi seco ao ar, sendo novamente espalhado sobre sacos plásticos para a adição dos tratamentos com superfosfato triplo. Procedeu-se da mesma forma como mencionado para a adição do fosfogesso, inclusive o período de incubação.

Foram feitas amostragens após a adição do fosfogesso e do superfosfato triplo. Evitou-se aplicar simultaneamente o fosfogesso e o superfosfato triplo para que não ocorresse a formação de compostos insolúveis P-Ca, prejudicando a avaliação do P disponível.

Primeiro cultivo

Antes da semeadura, foi realizada uma adubação básica que consistiu na adição de 200 mg kg⁻¹ de N (uréia) e 200 mg kg⁻¹ de K (cloreto de potássio). Os micronutrientes foram adicionados na forma de solução, visando adicionar: 10 mg kg⁻¹ de Fe (sulfato ferroso amoniacal hexahidratado), 10 mg kg⁻¹ de Mn (sulfato de manganês monohidratado), 10 mg kg⁻¹ de Zn (sulfato de zinco heptahidratado), 5 mg kg⁻¹ de B (ácido bórico), 5 mg kg⁻¹ de Cu (sulfato de cobre pentahidratado) e 1 mg kg⁻¹ de Mo (molibdato de amônio tetrahidratado).

Oito sementes de milho (*Zea mays*), híbrido DOW 2B710, foram semeadas a 2 cm de profundidade e desbastadas para duas plantas por vaso aos dez dias após a emergência (DAE). A umidade do solo foi mantida a 70% da capacidade máxima de retenção de água durante todo o ciclo da cultura. Aos 15 e 30 DAE foram realizadas as adubações de cobertura com 200 mg kg⁻¹ de N (uréia) e 200 mg kg⁻¹ de K (cloreto de potássio).

Após a colheita, realizada aos 45 DAE, as plantas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65° C até atingir massa constante, procedendo-se a pesagem, em balança analítica com exatidão de 0,01 g, e a moagem das mesmas em moinho tipo Willey. O P das amostras foi extraído via digestão nitro-perclórica, sendo a determinação do nutriente realizada por meio do método colorimétrico do metavanadato, seguindo os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A partir das informações de massa seca da parte aérea (MSPA) e de concentração de P, foi possível calcular o conteúdo de P na MSPA (P-acumulado).

Segundo cultivo

Após a colheita do primeiro ciclo, o solo foi seco ao ar e na sequência revolvido para amostragem. Posteriormente foi realizada a adubação da mesma forma como descrito no primeiro cultivo, exceção feita à adição de 50 mg kg⁻¹ de Mg (sulfato de magnésio heptahidratado). As doses de fosfogesso e de superfosfato triplo não foram reaplicadas. Os demais procedimentos utilizados na instalação, condução e obtenção dos resultados foram os mesmos utilizados no primeiro cultivo. Ao final do segundo cultivo realizou-se novamente amostragem do solo.

Durante os dois ciclos do milho houve a incidência da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), sendo necessário o controle com o inseticida piretróide deltametrina (Decis 25 CE – 0,5 g L⁻¹).

2.4.6 Análise dos dados

A análise estatística dos resultados foi realizada de acordo com os quadros de análise de variância apresentados na Tabela 9, utilizando o pacote estatístico SAS[®] - “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 1996), o SISVAR[®] versão 4.0 (FERREIRA, 2000), o Table Curve 2D[®] (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2002) e o SigmaPlot[®] versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2006). Os dois primeiros foram utilizados para a análise de variância, correlações e para o desdobramento das interações significativas, enquanto que os demais foram utilizados conjuntamente para as análises de regressão para as doses de gesso, obtendo-se as respectivas significâncias dos parâmetros das equações ajustadas. Vale ressaltar que dentre as interações estudadas, só foram discutidos os desdobramentos daquelas que apresentaram finalidade prática.

Tabela 9 - Quadro da análise de variância dos experimentos

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Experimento I	
Dose de fosfogesso	5
Resíduo	12
Total	17
Experimento II	
Dose de gesso	5
Tipo de gesso	2
Fonte de fósforo	2
Dose de gesso x Tipo de gesso	10
Dose de gesso x Fonte de fósforo	10
Tipo de gesso x Fonte de fósforo	4
Dose de gesso x Tipo de gesso x Dose de fósforo	20
Tratamento	53
Resíduo	108
Total	161
Experimento III	
Dose de gesso	7
Dose de fósforo	2
Fonte de fósforo	1
Dose de gesso x Dose de fósforo	14
Dose de gesso x Fonte de fósforo	7
Dose de fósforo x Fonte de fósforo	2
Dose de gesso x Dose de fósforo x Fonte de fósforo	14
Tratamento	47
Resíduo	96
Total	143
Experimento VI	
Dose de fosfogesso	8
Dose de fósforo	1
Dose de fosfogesso x Dose de fósforo	8
Tratamento	17
Bloco	3
Resíduo	51
Total	71

Na análise de regressão relacionou-se as variáveis dependentes (P disponível, produção de massa seca, teor de P acumulado etc) em função das doses de gesso. Para descrever as relações entre os parâmetros estudados foram testados os seguintes modelos:

Modelos polinomiais

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad [1]$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon \quad [2]$$

Em que:

Y: Variável analisada;

X: Dose de gesso;

β_0 : Ponto de interceptação da regressão com o eixo y;

β_1 : Coeficiente angular da regressão;

β_2 : Coeficiente de regressão quadrática;

ϵ : Termo de erro para a regressão proposta.

Modelos exponenciais

$$Y = \beta_1^{(-\beta_2 X)} + \epsilon \text{_____} [3]$$

$$Y = \beta_1^{\left(\frac{\beta_2}{X-\beta_3}\right)} + \epsilon \text{_____} [4]$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1^{(-\beta_2 X)} + \epsilon \text{_____} [5]$$

Em que:

Y: Variável analisada;

X: Dose de gesso;

β_1 : parâmetro correspondente ao ponto de estabilidade (Y mínimo) da regressão não linear;

β_0 , β_2 e β_3 : Parâmetros de regressão não linear do modelo;

ϵ : Termo de erro para a regressão proposta.

Modelo Peak Gaussian

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \left[-0,5 \left(\frac{X-X_0}{\beta_2} \right)^2 \right] + \epsilon \text{_____} [6]$$

Em que:

Y: Variável analisada;

X: Dose de gesso;

X_0 : Valor de X para Y máximo;

- β_0 : Valor mínimo de Y;
 β_1 : Amplitude da variável dependente (Y máximo – Y mínimo);
 β_2 : Parâmetro relacionado à largura do pico, na metade de Y máximo;
 ϵ : Termo de erro para a regressão proposta.

Modelo Sigmoidal

$$Y = \frac{\beta_1}{1 + e^{\left(-\frac{X - \beta_2}{\beta_3}\right)}} + \epsilon \quad [7]$$

Em que:

- Y**: Variável analisada;
X: Dose de gesso;
 β_1 : Parâmetro correspondente ao ponto de estabilidade (Y máximo) da regressão não linear;
 β_2 e β_3 : Parâmetros de regressão não linear do modelo.

Para a escolha do modelo adequado foram considerados aspectos de ordem teórica e de aplicação prática (ALVAREZ V., 1991). O modelo que apresentou o maior coeficiente de determinação e o menor desvio padrão da média foi o ajustado. Para cada modelo de regressão, foi avaliada a significância dos estimadores dos parâmetros da equação considerando-se as probabilidades de 1% e 5% e, não significativo, sendo representados respectivamente pelos símbolos **, *, e ns.

2.5 Resultados e discussão

Os dados originais referentes às variáveis estudadas, com os valores das repetições, médias, desvio padrão e coeficiente de variância, estão apresentados nos apêndices, de acordo com a seguinte ordem: Apêndice B – Experimento I (Tabela B1); Apêndice C – Experimento II (Tabelas C1 a C16); Apêndice D – Experimento III (Tabelas D1 a D18); Apêndice E –

Experimento IV (Tabelas E1 a E22). Os resultados da análise de variância também podem ser visualizados nos respectivos apêndices.

Para facilitar a compreensão e a organização dos dados, os experimentos serão discutidos isoladamente. Porém como o fosfogesso foi um insumo utilizado nos quatros experimentos, faz-se necessário uma discussão geral a respeito deste insumo.

Uma das características que diferem o fosfogesso da gipsita é a presença de pequena quantidade de P em sua composição. Embora muito benéfico do ponto de vista de nutrição de plantas, o P é considerado no gesso uma impureza, sendo que sua concentração varia de acordo com a eficiência do processo de fabricação de ácido fosfórico, geralmente não ultrapassando 6 g kg^{-1} (PAOLINELLI et al., 1986). O fosfogesso utilizado apresentou a concentração de 3 g kg^{-1} de P (Tabela 2). Portanto, as doses de fosfogesso resultaram na adição proporcional de P.

Como este fato é relevante para a discussão dos resultados dos quatro experimentos, é exposta na Figura 1 a quantidade adicionada de P correspondente a cada dose de fosfogesso. Como exemplo, pode-se mencionar a dose de fosfogesso de 50 g kg^{-1} , comum para os quatros experimentos, que acarreta na adição de 150 mg kg^{-1} de P. Partiu-se do princípio, pelo menos teoricamente, que os extratores demonstrassem este aumento dos teores de P. Em razão da concentração de 3 g kg^{-1} de P no fosfogesso, a relação existente entre ambos pode ser descrita como: $TP = 3 \times DF$, em que TP é o teor de fósforo adicionado via fosfogesso, em mg kg^{-1} , e DF é a dose de fosfogesso adicionada, em g kg^{-1} .

A discussão dos resultados visou explorar principalmente os aspectos relacionados à interação entre a presença do gesso e os teores de P. No experimento I, foram abordados os mecanismos sugeridos por Chien, Austin e Calvo (2009) para explicar a interferência do gesso na determinação de P. Nos experimentos II e III, foram discutidos para cada método, aspectos relacionados à presença de fontes de P e de gesso, e apenas para o experimento III a discussão referente às diferenças entre as cinco amostras de solo utilizadas. Nestes experimentos, foi feito um item final enfocando exclusivamente interferência do gesso e suas implicações na avaliação da disponibilidade de P. No experimento IV, foram discutidos os teores extraídos por cada método, ressaltando a diferença entre estes diante das doses de fosfogesso, bem como a correlação destes parâmetros com a produção de massa seca e o P acumulado pelo milho. Novamente encerrando com o enfoque na interferência causada pelo fosfogesso nos teores de P disponível.

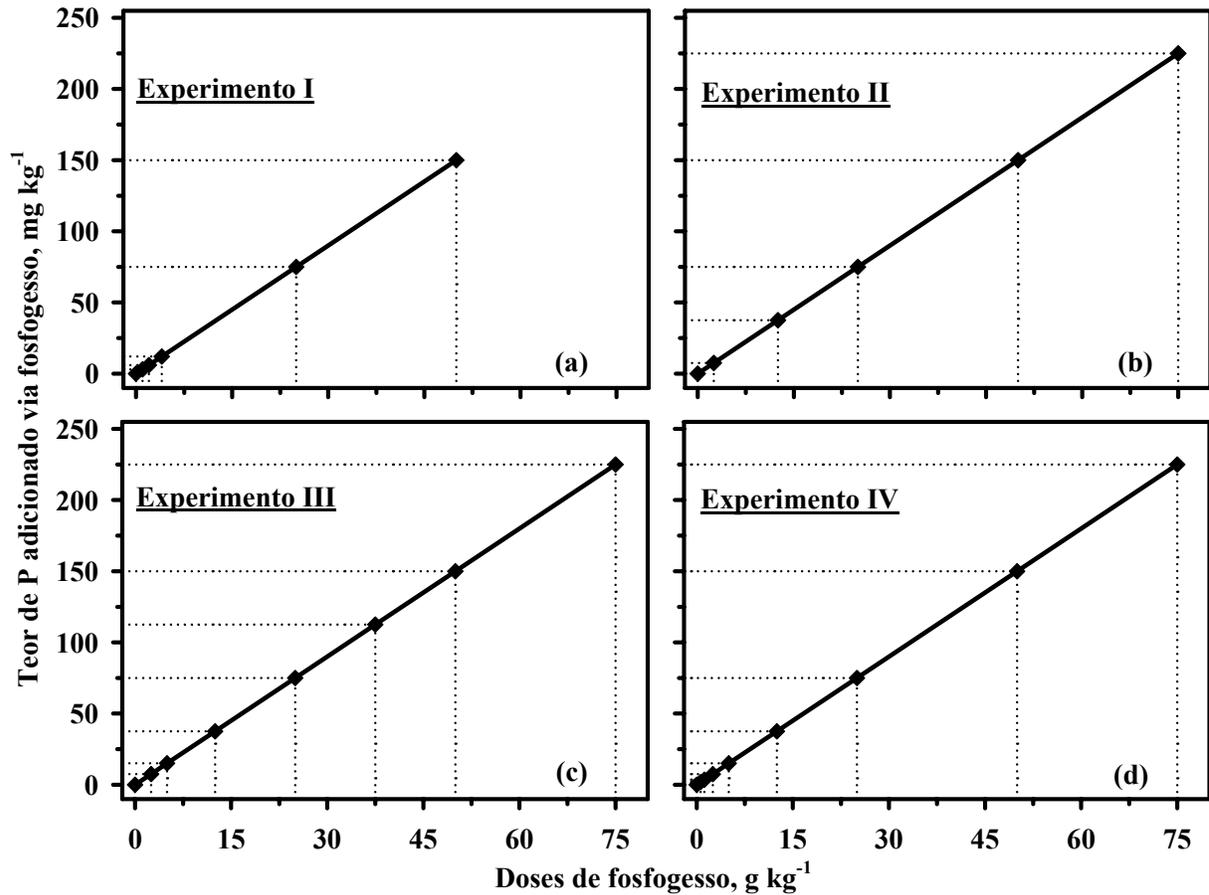


Figura 1 - Correspondência entre doses de fosfogesso empregadas nos quatro experimentos e os teores de fósforo adicionados, considerando a concentração de 3 g kg⁻¹ de P no fosfogesso

2.5.1 Experimento I: Disponibilidade de fósforo em amostras de quatro solos, avaliada pelo método da resina de troca iônica, após a aplicação de fosfogesso

Os resultados do experimento I indicaram que a resina de troca iônica pode não ser sensível ao aumento nos teores de P em função das doses de fosfogesso (Figura 2). Para as quatro amostras de solo estudadas, os teores de P foram ajustados ao modelo quadrático. Este comportamento pode ser explicado pela presença de P na composição do fosfogesso, resultando no aumento inicial observado. Porém, com a elevação das doses de fosfogesso a resina passou a não demonstrar este incremento, provavelmente em virtude das reações entre o HCO_3^- e o CaSO_4 , levando à formação de CaCO_3 que pode adsorver e/ou precipitar o P solúvel, subestimando os

resultados. De acordo com a hipótese sugerida por Al-Merey et al. (2004) e ratificada por Chien, Austin e Calvo (2009), nestas situações a reação que causa os problemas na avaliação do P disponível é descrita a seguir:



As cargas da resina de troca iônica são saturadas com NaHCO_3 (RAIJ; QUAGGIO, 2001), portanto a reação descrita pode ocorrer da mesma forma que reportado por Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009).

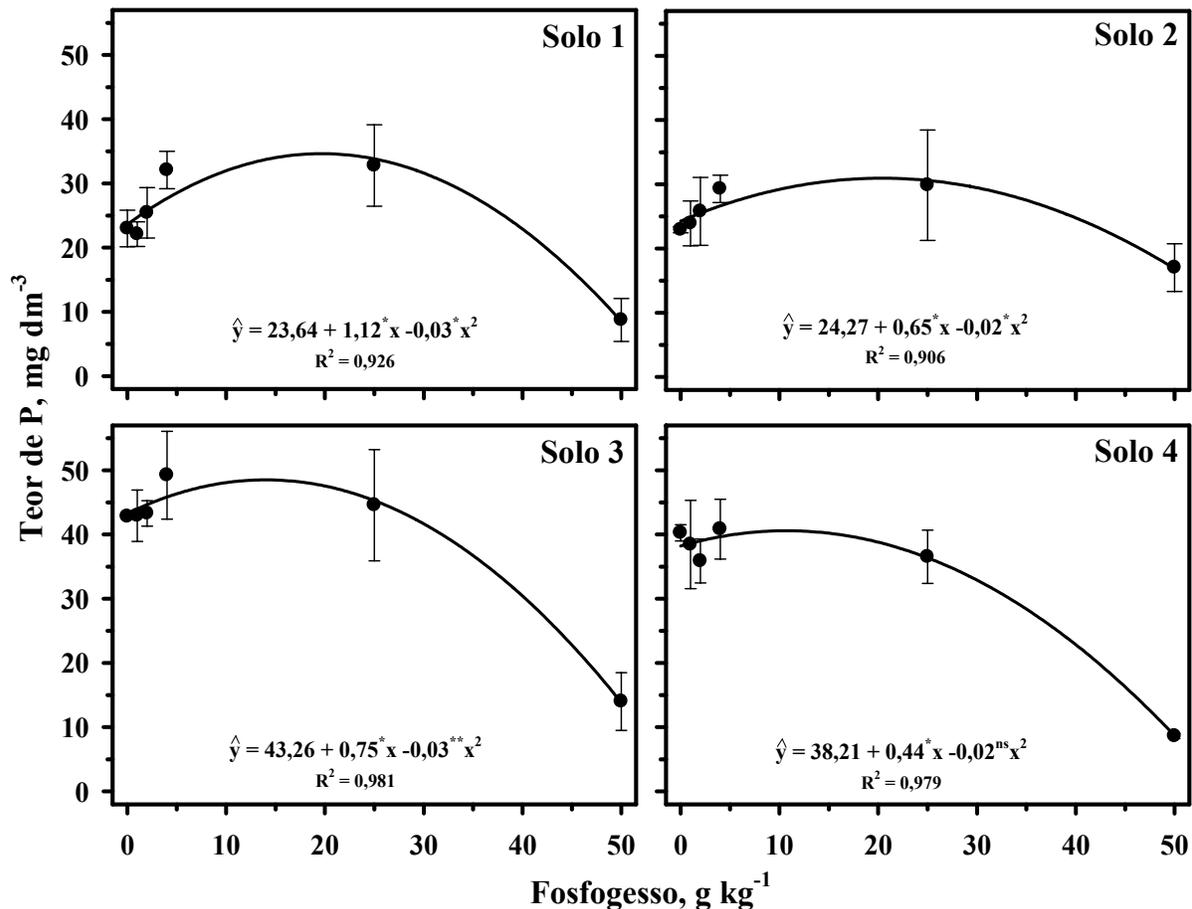


Figura 2 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, nas amostras de solo após a aplicação de doses de fosfogesso

Notam-se principalmente dois processos antagônicos acontecendo simultaneamente. O primeiro é o aumento do teor de P provocado pelo fosfogesso e o segundo é a interferência

negativa do CaSO_4 conforme preconizado por Al-Merey et al. (2004). Para as amostras 1 e 2, o primeiro prevalece até as doses de gesso de 19 e 16 g kg^{-1} , respectivamente, quando então a reação supracitada leva à diminuição do P extraível pela resina, mesmo com o incremento de P via fosfogesso. Já no caso das amostras 3 e 4, o aumento no teor de P não foi relevante, e observado somente até as doses de 12 e 11 g kg^{-1} , respectivamente, onde foram estimados os máximos teores de P.

O comportamento observado pode ser explicado, parcialmente, em função do teor inicial de P (Tabela 3). Na amostra 1, por exemplo, que apresentava inicialmente 21 mg dm^{-3} de P, o aumento no teor de P em função das doses de fosfogesso foi mais pronunciado do que nas amostras 3 e 4, cujos teores iniciais eram 46 e 47 mg dm^{-3} de P, respectivamente. Proporcionalmente o aumento nos teores de P foi maior nas amostras que apresentavam os teores iniciais mais baixos. A interpretação das equações de regressão da amostra 1 revelou o teor máximo de 34 mg dm^{-3} de P, ou seja, um aumento de 60% em relação ao teor inicial. Por outro lado, para as amostras 3 e 4 que já apresentavam teores maiores, praticamente não houve aumento em função das doses de fosfogesso.

Os teores de P em função da maior dose de fosfogesso estudada foram muito inferiores aos próprios teores iniciais. Com a dose de 50 g kg^{-1} de fosfogesso, foram adicionados 150 mg kg^{-1} de P (Figura 1a), porém o maior teor foi obtido na amostra 2, com 17 mg dm^{-3} de P. Entretanto o teor inicial de P era 25 mg dm^{-3} , ou seja, maior do que o teor extraído pela resina após a adição de 150 mg kg^{-1} de P, demonstrando que o método não foi sensível a esta adição. No caso das amostras 3 e 4, a diferença foi ainda maior, visto que o teor em resposta à maior dose foi cinco vezes menor do que o teor inicial (Figuras 2c e 2d).

Nestes casos a reação entre o HCO_3^- e o CaSO_4 predominou, subestimando consideravelmente os resultados. A amostra 4 é o maior exemplo dos resultados subestimados, uma vez que a resina extraiu apenas 9 mg dm^{-3} de P desta amostra, que já havia recebido 150 mg kg^{-1} de P (via fosfogesso) e que apresentava o teor inicial de 47 mg dm^{-3} de P.

Obviamente que não se esperava que todo o P adicionado pelo fosfogesso fosse extraído pela resina e determinado como uma fração disponível deste nutriente. Isto porque durante o período de incubação, uma parte do P solúvel proveniente do fosfogesso pode ter sido adsorvida à fase sólida do solo, devido à sua forte interação com os colóides, resultando em menor disponibilidade (BEEGLE, 2005).

Os resultados obtidos neste experimento corroboram as hipóteses sugeridas por Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009), de que a presença de CaSO_4 pode interferir negativamente na extração de P por métodos que utilizam na sua composição o íon HCO_3^- , como por exemplo, o extrator Olsen e a resina (OLSEN et al., 1954; RAIJ; QUAGGIO, 2001).

Vale destacar, que Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009), não utilizaram fosfogesso nos tratamentos. Desta forma, os autores não observaram aumento dos teores de P. No trabalho de Al-Merey et al. (2004) o problema foi observado em um solo que apresentava naturalmente elevados teores de CaSO_4 (Solo gipsífero) e, Chien, Austin e Calvo (2009) empregaram doses de gesso puro (reagente analítico).

Estes resultados foram importantes para a identificação de dois processos envolvidos na extração de P: o aumento no teor promovido pela adição de P via fosfogesso e a posterior diminuição provocada pela interferência negativa do CaSO_4 . Por meio das equações de regressão foi possível estimar a partir de que dose determinado comportamento prevalece. No entanto, indicou-se a necessidade de se utilizar doses intermediárias às adotadas, além de uma dose superior à 50 g kg^{-1} , como utilizada por Chien, Austin e Calvo (2009). Estas alterações foram englobadas nos experimentos II, III e IV e ajudaram a compreensão de algumas tendências apresentadas no experimento I.

Embora a extrapolação de dados obtidos em experimento de incubação, como o presente trabalho, para condições de campo deva ser feita criteriosamente, apenas baseada nas tendências observadas, claramente observa-se que as quantidades de gesso necessárias para causar a interferência nos teores de P-resina são muito superiores aquelas normalmente recomendadas. As doses de 1, 2 e 4 g kg^{-1} de fosfogesso não causaram qualquer comprometimento na eficácia da resina em determinar P, e estes teores correspondem às doses de 2, 4 e 8 Mg ha^{-1} . No Brasil praticamente não ocorrem recomendações superiores a estas, independente do critério adotado, indicando portanto que não trata-se de um problema contundente para as condições de solos ácidos.

Uma das maiores doses de gesso já citadas na literatura, refere-se àquela adotada por Toma et al. (1999) de 35 Mg ha^{-1} , o que corresponderia à $17,5 \text{ g kg}^{-1}$. Mesmo assim, para as amostras utilizadas no presente experimento esta adição de gesso não resultaria em teores de P subestimados. Embora a resina tenha apresentado este problema, a condição para que isto ocorra em solos ácidos é pouco provável, pois é necessária a adição de uma quantidade muito grande de

gesso ao solo. No entanto, deve-se atentar para situações onde são aplicadas doses de até 60 Mg ha⁻¹ de gesso em faixa para o café (Irrigação branca), sendo esta uma das situações passíveis da interferência do gesso na avaliação de teores de P-resina.

2.5.2 Experimento II: Teores de fósforo em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses de fosfogesso, gipsita ou gesso puro

Teor de fósforo avaliado pelo extrator Mehlich

O fosfogesso afetou significativamente os teores de P extraídos pela solução Mehlich, enquanto que as doses de gipsita e gesso puro não afetaram o teor de P nas amostras de solo (Figura 3). Este fato era esperado, pois uma das diferenças destes insumos é a presença de P na composição do primeiro. Portanto, confirmou-se que o fosfogesso pode aumentar a disponibilidade de P, sendo que o aumento médio foi de 1,0 mg dm⁻³ de P para cada 1,0 g kg⁻¹ de fosfogesso adicionado (Tabela 10).

Tabela 10 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso, gipsita e gesso puro

Gesso	Fosfato Natural Reativo (100 mg kg ⁻¹ P)		Superfosfato Triplo (100 mg kg ⁻¹ P)		Testemunha (0 mg kg ⁻¹ P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Fosfogesso	$\hat{y} = 51,06 + 1,10^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 42,48 + 0,92^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 19,96 + 1,09^{**}x$	0,97
Gipsita	$\hat{y} = 60,01 + 0,01^{ns}x$	0,02	$\hat{y} = 50,15 + 0,03^{ns}x$	0,21	$\hat{y} = 11,13 + 0,04^{ns}x$	0,64
Gesso puro	$\hat{y} = 65,60 - 0,06^{ns}x$	0,52	$\hat{y} = 54,28 + 0,00^{ns}x$	0,01	$\hat{y} = 11,34 + 0,04^{*}x$	0,79

*, **, ns Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade e, não significativo, respectivamente

Trata-se na verdade da comprovação de um fato já observado em condições de campo. Caíres et al. (2003), estudando as alterações químicas no solo e a resposta da soja ao calcário e fosfogesso, observaram aumento linear nos teores de P-Mehlich na camada de 0 a 5 cm, em

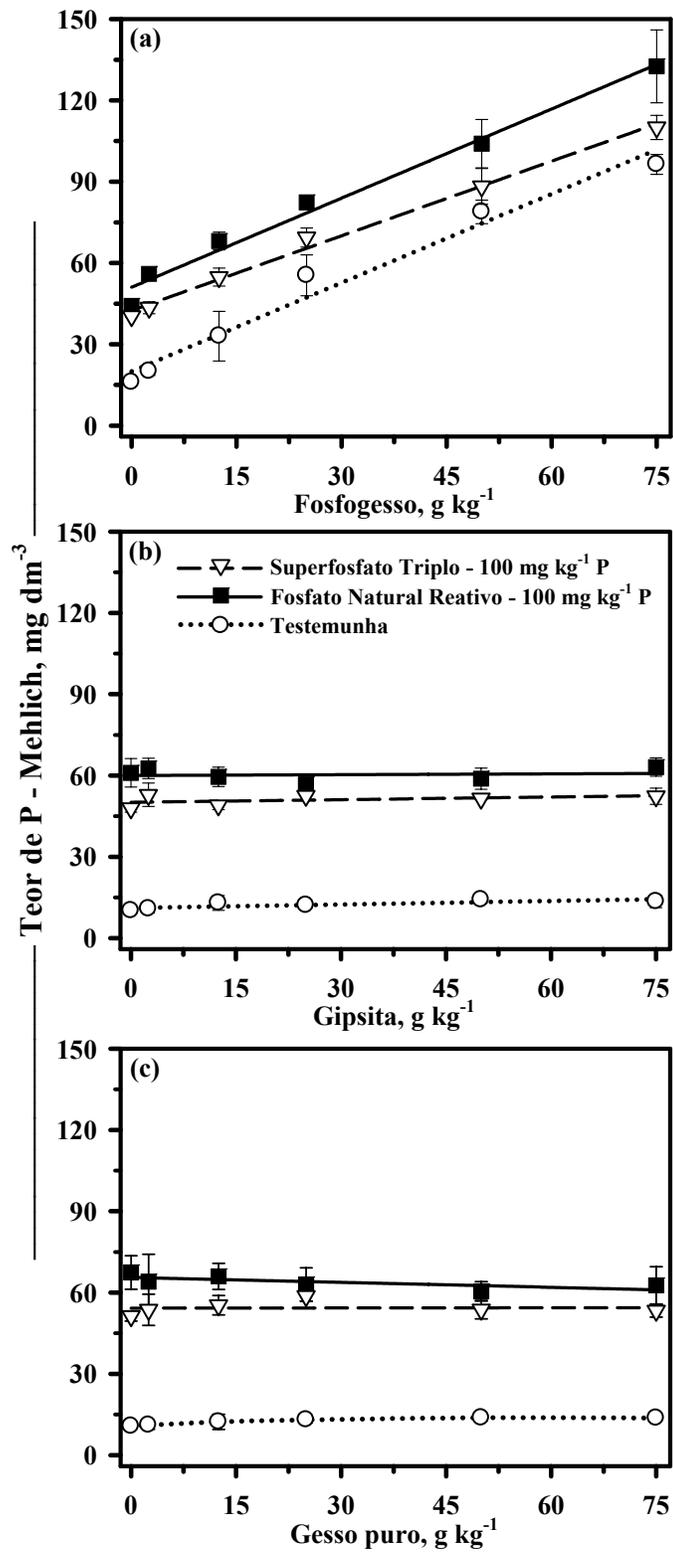


Figura 3 – Teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo extrator Mehlich, em função de doses de fosfогesso (a), gipsita (b) e gesso puro (c), e da adição de duas fontes de fósforo

resposta às doses de fosfogesso. Este incremento foi refletido no aumento da concentração de P nas folhas da soja, confirmando a elevação da disponibilidade de P no solo. Sumner et al. (1986) afirmam que no emprego de doses elevadas de fosfogesso, tais como as de 9 Mg ha⁻¹, utilizadas por Caíres et al. (2003), o incremento de P pode ser importante do ponto de vista da nutrição de plantas.

Considerando a média das três formas de gesso, os maiores teores de P foram observados nos tratamentos que receberam fosfato natural reativo (FNR) seguido do tratamento com superfosfato triplo (SFT) e por fim a testemunha (Tabela 11). O desdobramento desta interação demonstrou que para gipsita e para gesso puro os teores de P observados no tratamento com FNR não foram superiores estatisticamente ao tratamento com SFT.

Tabela 11 - Desdobramento da interação entre fonte de fósforo e forma de gesso, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de gesso⁽¹⁾

Formas de gesso	Fosfato Natural Reativo (100 mg kg ⁻¹ P)		Superfosfato Triplo (100 mg kg ⁻¹ P)		Testemunha (0 mg kg ⁻¹ P)		Média do gesso
	Teor de P, mg dm ⁻³						
Fosfogesso	81	Aa	68	Ab	50	Ac	66 A
Gipsita	60	Ba	51	Ba	12	Bb	41 B
Gesso puro	64	Ba	54	Ba	12	Bb	43 B
Média da fonte	68	a	58	B	25	c	50 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

De forma geral, a aplicação de fosfatos solúveis promove maior disponibilidade de P do que a aplicação de fosfatos naturais (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2003). A solubilidade destas fontes é uma das explicações para o comportamento observado, uma vez que as reações do solo com os fertilizantes são quase totalmente completadas, quando são utilizadas fontes solúveis. Após a dissolução do fertilizante, o P passa à solução do solo de onde pode ser adsorvido aos colóides, formar complexos de baixa solubilidade ou ser absorvido pelas plantas (BARROW, 1974). Assim, diversos extratores podem ser utilizados satisfatoriamente para avaliar a disponibilidade de P em solos que receberam estas fontes de elevada solubilidade. Silva et al. (1999) comparando a eficiência de extratores de P em solos que receberam fosfatos solúveis e fosfatos naturais, observaram elevados coeficientes de correlação nos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina, nos tratamentos com SFT. Corrêa e Haag (1993) comparando resina e

Mehlich-1 observaram resultados semelhantes para a extração de P em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Segundo Bolan e Redley (1990), apenas uma pequena fração do P proveniente de fosfatos naturais torna-se disponível após sua dissolução. Portanto, os maiores teores de P-Mehlich em função dos tratamentos com FNR (Tabela 11) indicam a inadequação do extrator em avaliar a disponibilidade de P em solos que receberam estes fertilizantes.

Khasawneh e Doll (1978) apresentaram a hipotética reação de dissolução de fosfatos naturais: $\text{Ca}_{10}(\text{PO})_4\text{F}_2 + 12\text{H}^+ \Leftrightarrow 10\text{Ca}^{2+} + 6\text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{F}^-$, afirmando que a dissolução aumenta proporcionalmente com o suprimento dos prótons H^+ . Desta forma, a utilização de extratores ácidos promove a excessiva dissolução destes fosfatos, resultando em valores superestimados como os observados no presente trabalho.

A confirmação que os extratores ácidos, como é o caso da solução Mehlich, normalmente superestimam a disponibilidade de P em solos previamente adubados com fosfatos naturais, está baseada também na falta de correlação dos teores extraídos com o rendimento das culturas ou com as quantidades absorvidas do nutriente (DOLL; MILLER; FREEMAN, 1960; SFREDO et al., 1979; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

De acordo com Rajj (2003), o pH dos extratores ácidos é inadequado para a solubilização de fosfatos de Fe e Al, sendo, porém, favorável para a extração de fosfatos de Ca, mesmo em formas não lábeis, confirmando que o extrator é específico a determinadas formas químicas de P e não ao P lábil. Assim, a baixa eficiência destes extratores em solos corrigidos com fosfatos de baixa solubilidade está em parte relacionada à dissolução de resíduos não disponíveis às plantas, confirmando a premissa de Khasawneh e Doll (1978)

Teor de fósforo avaliado pelo método da resina de troca iônica

Os teores de P extraídos pela resina de troca iônica foram afetados significativamente pelas doses de gesso, no entanto, o comportamento observado em função do fosfogesso foi diferente daquele observado com gipsita e gesso puro. O modelo ajustado para as doses de fosfogesso foi o *Peak Gaussian*, enquanto que para gipsita e gesso puro, independentemente da fonte de P foi ajustado modelo exponencial (Tabela 12). Para todas as interações testadas, os teores de P foram maiores em resposta ao tratamento com SFT > FNR > testemunha (Tabela 13).

Tabela 12 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso, gipsita e gesso puro

Gesso	Equação	R ²
———— Fosfato Natural Reativo - 100 mg kg ⁻¹ de P ————		
Fosfogesso	$\hat{y} = 26,52 + 33,92^* \left[-0,5 \left(\frac{X-11,57^{**}}{8,85^*} \right)^2 \right]$	0,98
Gipsita	$\hat{y} = 10,84^* \left(\frac{64,04^{ns}}{X-240,98^*} \right)$	0,99
Gesso puro	$\hat{y} = 8,58^{**} \left(\frac{24,36^{**}}{X-14,92^{**}} \right)$	0,99
———— Superfosfato Triplo - 100 mg kg ⁻¹ de P ————		
Fosfogesso	$\hat{y} = 22,39 + 53,01^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-8,03^*}{11,98^{**}} \right)^2 \right]$	0,99
Gipsita	$\hat{y} = 0,19^{ns} \left(\frac{1339,90^{ns}}{X-227,30^{ns}} \right)$	0,98
Gesso puro	$\hat{y} = 2,01 + 74,45^{**} (-0,03^{**} X)$	0,99
———— Testemunha - 0 mg kg ⁻¹ de P ————		
Fosfogesso	$\hat{y} = 7,56 + 18,19^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-16,16^{**}}{8,10^{**}} \right)^2 \right]$	0,99
Gipsita	$\hat{y} = 3,01^{ns} \left(\frac{49,88^{ns}}{X-32,69^{ns}} \right)$	0,98
Gesso puro	$\hat{y} = 12,26^{**} (-0,01^{**} X)$	0,95

*; **, ns Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade e, não significativo, respectivamente

Com relação ao comportamento observado nos tratamentos com fosfogesso, foi possível separar a curva de resposta em 4 fases: fase 1 – compreende o aumento inicial sendo justificado pelo incremento de P via fosfogesso; fase 2 – refere-se ao teor máximo de P que a resina foi capaz de extrair; fase 3 – diminuição exponencial dos teores de P, causados pela interferência do CaSO₄; fase 4 – estabilização nos teores após a diminuição exponencial (Figura 4). O ajuste ao modelo peak gaussian tem implicação prática, pois os parâmetros desta equação permitem estimar as doses de fosfogesso correspondentes aos teores máximo e mínimo de P. Vale ressaltar que em todas estas fases descritas, teoricamente estão ocorrendo os processos antagônicos de aumento nos teores de P via fosfogesso e da interferência do CaSO₄, ora prevalecendo um ora o outro.

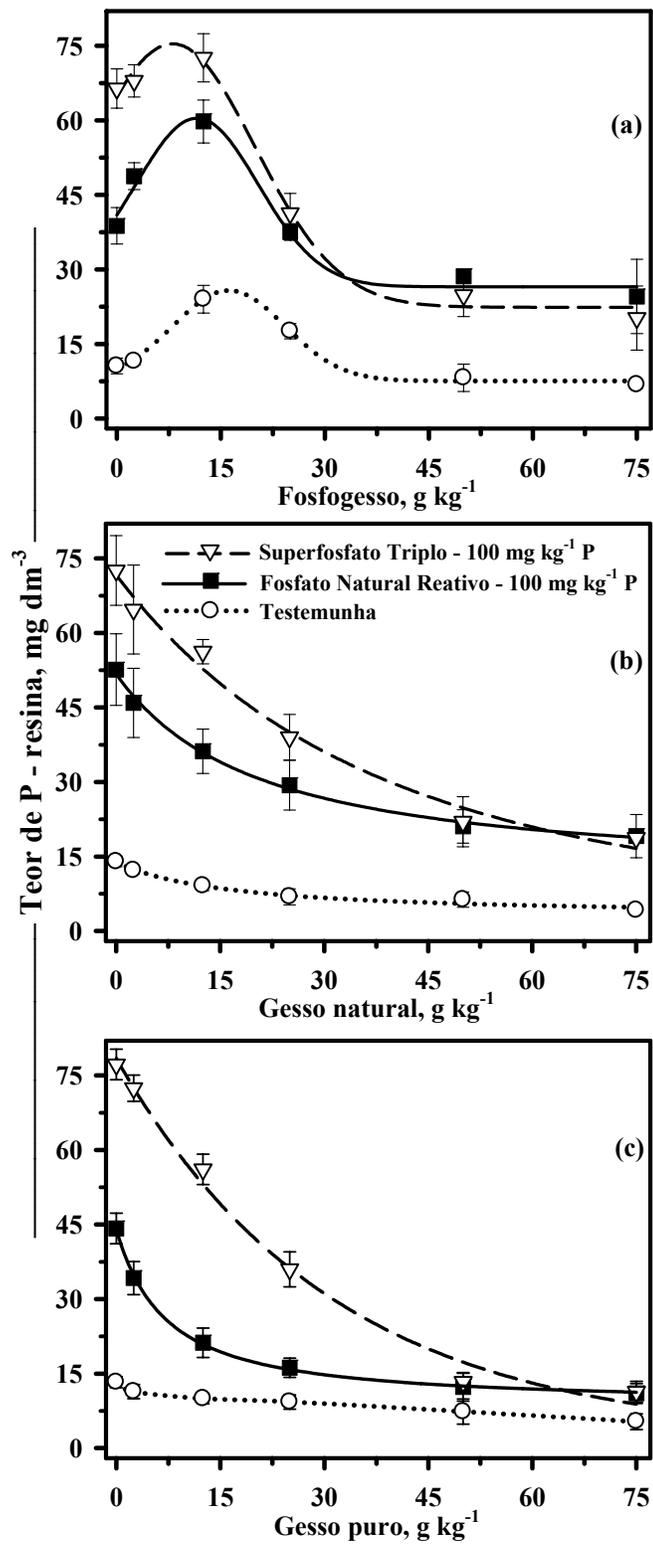


Figura 4 - Teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em função de doses de fosfogesso (a), gipsita (b) e gesso puro (c), e da adição de duas fontes de fósforo

Tabela 13 - Desdobramento da interação entre fonte de fósforo e forma de gesso, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de gesso⁽¹⁾

Formas de gesso	Fosfato Natural Reativo (100 mg kg ⁻¹ P)		Superfosfato Triplo (100 mg kg ⁻¹ P)		Testemunha (0 mg kg ⁻¹ P)		Média do gesso
	Teor de P, mg dm ⁻³						
Fosfogesso	40	Ab	49	Aa	13	Ac	34 A
Gipsita	34	Ab	46	Aa	9	Ac	30 AB
Gesso puro	23	Bb	44	Aa	9	Ac	25 B
Média da fonte	32	b	46	a	10	c	30 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

O aumento nos teores de P se refere à adição de P via fosfogesso. No entanto, esta tendência não se manteve com o aumento das doses de fosfogesso, como observado para o extrator Mehlich. O teor máximo de P extraído corresponde à dose onde os processos que levam ao aumento na disponibilidade (adição de P via fosfogesso) e a interferência negativa do CaSO₄ se equivalem. Antes deste ponto, o processo de adição de P é maior do que a interferência negativa do CaSO₄. No ponto de máximo ambos coexistem na mesma intensidade, portanto se anulam, e com doses superiores a interferência é mais importante do que o aumento de disponibilidade provocado pela adição de P via fosfogesso. Para todos os casos analisados, existe o ponto onde a diminuição se estabiliza, e a dose correspondente a este ponto pode ser estimada. A interpretação deste comportamento leva a conclusão de que os teores de P são subestimados nas maiores doses de fosfogesso, uma vez que o teor inicial de P é maior do que os teores observados na chamada fase 4, ou seja, os teores se estabilizam sempre abaixo daquele inicial.

Este ponto de estabilidade não foi identificado no experimento I, em virtude das doses utilizadas naquela oportunidade, fato que tornou o experimento não conclusivo, uma vez que surgiram dúvidas referentes ao comportamento do extrator frente a doses mais elevadas, como as utilizadas no trabalho de Chien, Austin e Calvo (2009). A estabilidade nos teores de P foi obtida com as doses 43, 49 e 45 g kg⁻¹, correspondendo aos teores mínimos de 8, 22 e 26 mg dm⁻³ de P, para testemunha, SFT e FNR, respectivamente. Como demonstrado na Figura 1, a dose de 75 g kg⁻¹ adiciona 225 mg kg⁻¹ de P, portanto esta informação demonstra que a resina subestimou consideravelmente os teores de P nas doses mais elevadas, uma vez que não foi sensível à adição do nutriente contido no insumo.

Ainda referente à resposta ao fosfogesso, os teores máximos estimados por meio das equações ajustadas foram 26, 60 e 75 mg dm⁻³ de P em função das doses 16, 11 e 8 g kg⁻¹ de fosfogesso, para SFT, FNR e testemunha, respectivamente.

Chien, Austin e Calvo (2009) observaram diminuição dos teores de P em função das doses 0, 100, 200 e 300 g kg⁻¹ de gesso. O aumento na disponibilidade de P observado no presente experimento foi um comportamento diferente do observado no trabalho de Chien, Austin e Calvo (2009), pois os autores não utilizaram fosfogesso, e sim gesso puro (reagente analítico). Desta forma, os autores discutiram a diminuição nos teores de P pela presença de gesso apenas graficamente, não ajustando um modelo matemático aos dados, mesmo assim é evidente a tendência de relevante diminuição dos teores de P, até a dose de 100 g kg⁻¹, seguida de estabilização até a dose mais elevada. Exatamente este foi o comportamento observado para o presente trabalho em função das doses de gipsita e gesso puro.

Os modelos ajustados para gipsita e gesso puro variaram em função das tendências observadas, porém refletiram com elevado coeficiente de determinação a diminuição exponencial dos teores de P. A diminuição mais pronunciada ocorreu no tratamento com gesso puro e superfosfato triplo, de 77 à 11 mg dm⁻³ de P em resposta à dose de 75 g kg⁻¹.

A resina certamente é um dos mais eficazes métodos de avaliação de P, que apresenta forte embasamento teórico e é um dos únicos métodos claramente sensíveis a somente a P lábil (ANDERSON, 1960; BINGHAM, 1962, LARSEN, 1967; RAIJ, 1978; SILVA; RAIJ, 1999; NOVAIS; SMYTH, 1999). No entanto, não demonstrou ser o método mais indicado para a situação mencionada no presente trabalho, ou seja, solos com elevados teores naturais de gesso (Solos gipsíferos ou petrogipsíferos) ou quando quantidades consideráveis de gesso agrícola (fosfogesso ou gipsita) permanecem nas camadas superficiais do solo.

Justamente um dos motivos do seu sucesso, que é o emprego do íon bicarbonato, pode ser o motivo da subestimativa do P disponível. Al-Merey et al. (2004) comprovaram que em solos gipsíferos o teor de P pode ser consideravelmente subestimado, e sugeriram os prováveis mecanismos para tal problema, envolvendo o íon HCO₃⁻ da resina aniônica e o NaHCO₃ da solução Olsen, que reagiriam com o CaSO₄, resultando na precipitação do P solúvel durante a extração. Chien, Austin e Calvo (2009) comprovaram estas hipóteses em solos calcareos e demonstraram evidências físicas da formação de CaCO₃ após a reação mencionada. Os dados

obtidos no presente trabalho corroboram estas informações em um solo ácido altamente intemperizado, onde o gesso de fato é muito empregado como condicionador de subsuperfície.

Teor de fósforo avaliado pelo método do Papel-Pi

Assim como observado nos teores de P-Mehlich e P-resina, o fosfogesso proporcionou os maiores teores de P, significativamente superiores aos teores obtidos com gipsita e com gesso puro. Este fato se deve à adição de P via fosfogesso, fato já mencionado e discutido anteriormente. Com relação às fontes de P, para todas as situações o SFT proporcionou teores superiores aos tratamentos com FNR e à testemunha (sem adição de P), sendo que estes últimos, na média, não diferiram estatisticamente. Para gipsita e gesso puro, por exemplo, os teores de P no tratamento com SFT foram três vezes maiores àqueles obtidos com FNR.

O aumento provocado pelo fosfogesso foi praticamente da mesma ordem daquele observado para os teores de P-Mehlich, sendo o incremento médio de $1,25 \text{ mg dm}^{-3}$ de P para cada 1 g kg^{-1} de fosfogesso adicionado (Tabela 14 e Figura 5). No entanto, a seqüência de teores de P extraídos por Mehlich foi $\text{FNR} > \text{SFT} > \text{testemunha}$, fato não observado para o Papel-Pi, cuja seqüência foi $\text{SFT} > \text{FNR} = \text{testemunha}$. Inclusive, nota-se a proximidade dos teores obtidos: P-Mehlich 58 e 25 mg dm^{-3} de P e, P-Papel-Pi 64 e 20 mg dm^{-3} de P, para SFT e FNR, respectivamente. Por outro lado, os teores médios de P no caso do FNR foram 68 e 26 mg dm^{-3} de P, para Mehlich e Papel-Pi, respectivamente.

Tabela 14 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso, gipsita e gesso puro

Gesso	Fosfato Natural Reativo ($100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)		Superfosfato Triplo ($100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)		Testemunha ($0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Fosfogesso	$\hat{y} = 15,05 + 1,21^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 50,33 + 1,29^*x$	0,99	$\hat{y} = 7,26 + 1,25^{**}x$	0,99
Gipsita	$\hat{y} = 13,39 - 0,01^{ns}x$	0,02	$\hat{y} = 54,16 - 0,04^{ns}x$	0,24	$\hat{y} = 8,13 - 0,01^{ns}x$	0,05
Gesso puro	$\hat{y} = 17,14 - 0,08^{ns}x$	0,47	$\hat{y} = 53,26 - 0,05^{ns}x$	0,25	$\hat{y} = 9,62 - 0,02^{ns}x$	0,10

*,**,ns Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade e, não significativo, respectivamente

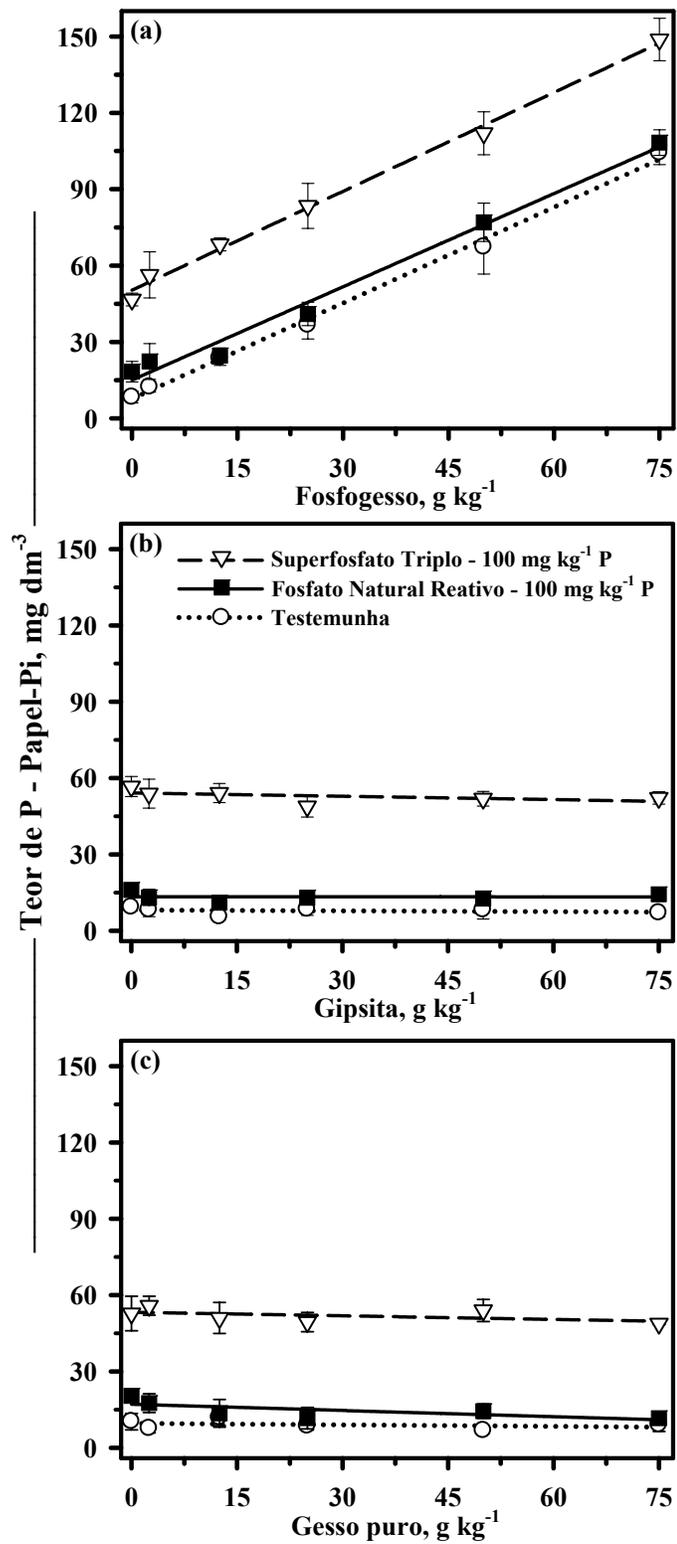


Figura 5 - Teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em função de doses de fosfogesso (a), gipsita (b) e gesso puro (c), e da adição de duas fontes de fósforo

Isto confirma a inadequação do extrator Mehlich para avaliar a disponibilidade de P em solos recém fertilizados com fosfatos naturais, fato já mencionado e muito reportado na literatura (RAIJ, 2003). Demonstra também a boa capacidade do método do Papel-Pi em avaliar os teores de P, tanto refletindo no aumento da disponibilidade em função das doses de fosfogesso quanto em função da adição de uma fonte solúvel de P, como é o caso do SFT.

Os baixos teores de P para o tratamento com FNR (Tabela 15) podem ser explicados pelo chamado *Ca common-ion effect* (traduzido como efeito de íon comum de cálcio). O CaSO_4 , um sal solúvel, quando dissolvido passa a suprir a solução dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . O aumento da concentração de Ca^{2+} na solução de KCl $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ durante a extração de P pelo método do Papel-Pi, pode resultar na diminuição da dissolução dos fosfatos naturais (HABIB et al., 1998).

Tabela 15 - Desdobramento da interação entre fonte de fósforo e forma de gesso, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de gesso⁽¹⁾

Formas de gesso	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	Testemunha	Média do gesso
	($100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)	($100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)	($0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)	
	Teor de P, mg dm^{-3}			
Fosfogesso	49	86	42	59 A
Gipsita	13	53	8	25 B
Gesso puro	15	52	9	25 B
Média da fonte	26 b	64 a	20 b	36 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Este efeito de íon comum foi observado por Habib et al. (1998) em um experimento de vasos com milho, comparando-se fosfato natural da Carolina do Norte (FNCN) e SFT. Durante a avaliação dos teores de P pelo método do Papel-Pi, estes autores observaram que os teores de P nos tratamentos com FNCN estavam sendo subestimados, uma vez que a produção de massa seca e o acúmulo de P pela planta eram semelhantes tanto em resposta ao TSP quanto ao FNCN. Naquela época a solução empregada durante a extração era de CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e a este fato foi atribuída a diminuição da disponibilidade de P do FNCN, em virtude da concentração de Ca^{2+} na solução, prejudicando a dissolução do FNCN. Em função destes resultados, foi sugerida a substituição da solução de CaCl_2 por KCl. Este fato contrariou a premissa proposta por Menon, Hammond e Sissing (1989) de que o Papel-Pi utilizando CaCl_2 poderia avaliar similarmente P de solos com SFT e FN aplicados.

Comparando-se os teores de P-resina e P-Papel-Pi nos tratamentos com FNR, observa-se que para a resina os teores foram significativamente superiores à testemunha, enquanto que para o P-Papel-Pi os teores não diferiram da testemunha. Provavelmente esta tendência se deve ao emprego da mistura de resinas catiônica e aniônica (RAIJ, QUAGGIO; SILVA, 1986), sendo assim um dreno para cálcio durante as 16 horas de agitação, favorecendo a dissolução do FNR.

O Papel-Pi não apresenta este mecanismo que diminui a atividade de cátions na solução. Caso fosse utilizada a resina aniônica, como é o caso dos trabalhos de Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009), provavelmente os resultados de P-FNR seriam semelhantes aos obtidos pelo Papel-Pi (CHIEN¹¹ – comunicação pessoal).

Teor de cálcio avaliado pelo método da resina de troca iônica

Houve resposta significativa no teor de Ca^{2+} em função das doses de gesso, fato que era esperado devido à presença de aproximadamente 220 g kg^{-1} de cálcio na composição dos insumos. O coeficiente angular obtido por meio das equações ajustadas seguiu a ordem: fosfogesso > gipsita > gesso puro (Tabela 16 e Figura 6), enquanto que o conteúdo de cálcio nos insumos seguiu a ordem: gesso puro > fosfogesso > gipsita.

Tabela 16 - Equações de regressão para o teor de cálcio, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso, gipsita e gesso puro

Gesso	Fosfato Natural Reativo (100 mg kg ⁻¹ P)		Superfosfato Triplo (100 mg kg ⁻¹ P)		Testemunha (0 mg kg ⁻¹ P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Fosfogesso	$\hat{y} = 34,74 + 7,96^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 31,42 + 8,53^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 33,66 + 7,93^{**}x$	0,99
Gipsita	$\hat{y} = 38,06 + 7,00^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 36,37 + 7,01^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 67,69 + 6,99^{**}x$	0,88
Gesso puro	$\hat{y} = 44,88 + 6,09^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 46,07 + 6,55^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 30,32 + 6,28^{**}x$	0,99

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

¹¹ CHIEN, S.H. IFDC – An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development, Muscle Shoals, AL, EUA (Senior scientist – Retired)

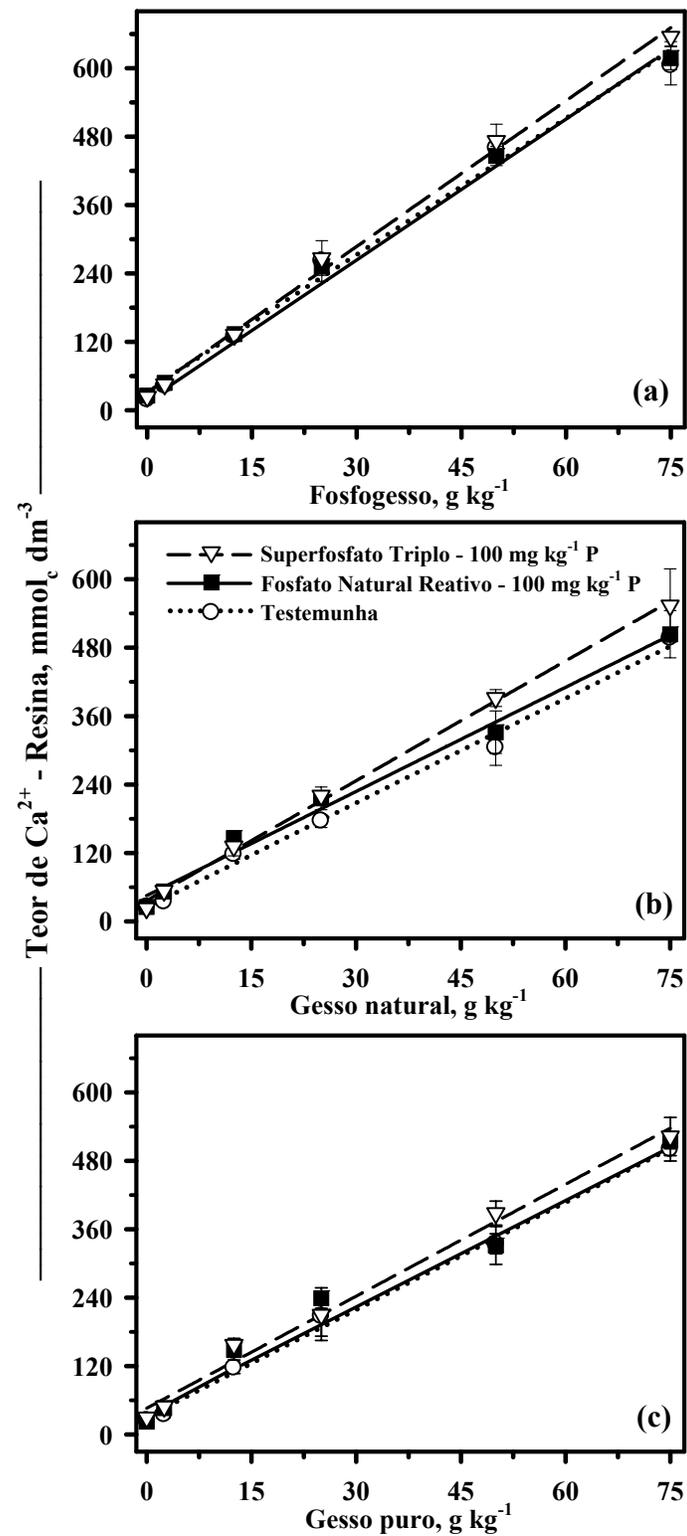


Figura 6 - Teor de cálcio em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em função de doses de fosfogesso (a), gipsita (b) e gesso puro (c), e da adição de duas fontes de fósforo

Provavelmente, dentre os insumos, o fosfogesso pode ter mais Ca solúvel, principalmente na forma de fosfato monocálcico, mesmo que o maior teor total do elemento tenha sido observado no gesso puro. Este argumento se fortalece com os resultados das respostas à aplicação das três fontes de gesso, que indicou que o fosfogesso > gesso puro = gipsita (Tabela 17).

Os valores referentes às médias das formas de gesso, apresentaram diferença estatística entre a testemunha e o SFT, ficando o FNR com os teores intermediários e não diferindo estatisticamente de ambos.

Tabela 17 - Desdobramento da interação entre fonte de fósforo e forma de gesso, sobre o teor de cálcio em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de gesso⁽¹⁾

Formas de gesso	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	Testemunha	Média do gesso
	(100 mg kg ⁻¹ P)	(100 mg kg ⁻¹ P)	(0 mg kg ⁻¹ P)	
	Teor de Ca ²⁺ , mmol _c dm ⁻³			
Fosfogesso	254	266	253	258 A
Gipsita	212	229	192	211 B
Gesso puro	217	226	203	215 B
Média da fonte	228 ab	240 a	216 b	228 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Assim como o caso dos gessos, o fertilizante que apresenta o maior teor total do nutriente não é aquele que proporcionou os maiores teores extraídos. Ou seja, o SFT apresenta cerca de 100 g kg⁻¹ de Ca enquanto que o FNR 280 g kg⁻¹ de Ca, no entanto a solubilidade do primeiro é mais elevada (BRASIL, 2007). Ainda neste sentido, durante a extração o pH do meio é tamponado com bicarbonato em valores de pH que não favorecem a dissolução de fosfatos naturais.

Embora o Ca²⁺ extraído pela resina seja considerado como a fração trocável do elemento no solo, não se pode considerar que, por exemplo, os 600 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ em resposta a dose de fosfogesso de 75 g kg⁻¹, represente somente a fração trocável do nutriente, uma vez que este teor extrapola a capacidade de troca catiônica do solo em questão. Estes teores, provavelmente, são dados superestimados em função da extração e conseqüente quantificação de frações de Ca²⁺ dos materiais do fosfogesso, gipsita e gesso puro.

No entanto, este fato não pode ser considerado um problema do método da resina, uma vez que é conhecido que este método foi desenvolvido preferencialmente para a extração de P, e

no Brasil o emprego da mistura de resinas se deve à conveniência de se extrair simultaneamente cátions trocáveis, apresentando a vantagem da diminuição da atividade destes íons em solução, favorecendo a dissolução do P (RAIJ, QUAGGIO; SILVA, 1986).

Para a grande maioria das situações, a resina apresenta bom funcionamento para os teores trocáveis de Ca^{2+} . O tempo de agitação foi estipulado para a extração de P e não de Ca. Em solos calcareos, a resina não parece ser o método mais adequado, pelo menos não com 16 horas de agitação. A resina não foi desenvolvida para avaliar os teores de Ca em solos com elevados teores do elemento, tais como solos calcareos, e por isso é utilizada com sucesso para tal finalidade no Brasil, onde normalmente os valores são relativamente baixos (LOPES, 1984).

Soratto e Crusciol (2008) em estudo com doses de calcário (0, 1,1, 2,7 e 4,3 Mg ha^{-1}) aplicadas superficialmente, na implantação do sistema plantio direto, com e sem gesso (0 e 2,1 Mg ha^{-1}), observaram que a resina superestimou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solos com recentes aplicações de calcário. Vale ressaltar que os teores observados por estes autores foram muito inferiores aos obtidos no presente trabalho.

Leituras de pH em cloreto de cálcio – 0,01 mol L⁻¹

O gesso não é um corretivo de acidez do solo (ALCORDO; RECHCIGL, 1993), portanto não se espera alteração brusca de pH em resposta à sua aplicação, uma vez que após a dissolução, o gesso forma um ácido forte (H_2SO_4), que portanto permanece dissociado. Teoricamente o gesso pode aumentar ou diminuir o pH, embora estas alterações sejam de pequena magnitude.

No entanto, diversos autores mencionam alteração no pH em função das doses de gesso (SUMNER et al., 1986; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAMARGO; RAIJ, 1989; QUAGGIO et al., 1993; CAIRES et al., 1999; 2006). No entanto, sendo um sal neutro, seu efeito na redução da acidez pode ser explicado pelo mecanismo denominado ‘auto-calagem’ (reação de troca de ligantes), na qual a hidroxila (OH^-) é substituída pelo SO_4^{2-} , principalmente na superfície dos óxidos hidratados de Fe e Al, e seguida pela precipitação do Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ na solução do solo (REEVE; SUMNER, 1972).

Não foram observadas diferenças entre as fontes de P, fato previsível porque estes fertilizantes não contêm entre seus constituintes nenhuma impureza que possa justificar

alterações relevantes no pH. Para o fosfogesso, praticamente não houve alteração no pH, como é esperado teoricamente, em virtude de não se tratar de um corretivo de acidez.

Já com gipsita e para gesso puro, aumentos de pH de magnitude inesperada foram observados, se ajustando ao modelo sigmoidal (Tabela 18, Figura 7). No caso da gipsita, o aumento foi de uma unidade em função das doses de fosfogesso. E para o gesso puro, o aumento foi relevante, de aproximadamente 2 unidades (Tabela 19).

Tabela 18 - Equações de regressão para os valores de pH em cloreto de cálcio de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso, gipsita e gesso puro

Gesso	Fosfato Natural Reativo (100 mg kg ⁻¹ P)		Superfosfato Triplo (100 mg kg ⁻¹ P)		Testemunha (0 mg kg ⁻¹ P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Fosfogesso	$\hat{y} = 5,02 + 0,00^{ns}x$	0,56	$\hat{y} = 4,98 + 0,00^{ns}x$	0,41	$\hat{y} = 4,96 + 0,00^*x$	0,69
Gipsita	$\hat{y} = \frac{6,46^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-65,50^{ns}}{49,20^{ns}}\right)}}$	0,96	$\hat{y} = \frac{6,76^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-72,67^{**}}{66,65^{ns}}\right)}}$	0,99	$\hat{y} = \frac{6,50^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-61,41^{**}}{50,86^{**}}\right)}}$	0,98
Gesso puro	$\hat{y} = \frac{6,78^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-12,21^{**}}{10,72^{**}}\right)}}$	0,99	$\hat{y} = \frac{6,69^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-12,85^{**}}{10,26^{**}}\right)}}$	0,99	$\hat{y} = \frac{6,75^{**}}{1 + e^{-\left(\frac{X-20,38^*}{16,95^*}\right)}}$	0,97

*; **; ns Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade e, não significativo, respectivamente

Em virtude destes resultados inesperados, realizou-se a leitura dos valores de pH dos insumos, realizado na relação 1 : 2,5 (gesso : água), sendo os resultados: 3,36 para fosfogesso: 6,94 para gipsita e 7,26 para gesso puro.

Em parte, os dados podem ser justificados em função do pH dos insumos, ou seja, a resposta foi mais pronunciada quanto maior era o pH do insumo. Toma et al. (1999), em estudo de longa duração e com doses de gesso de até 35 Mg ha⁻¹, justificaram o aumento de pH, principalmente na camada superficial do solo, devido presença de CaCO₃ (impureza na concentração de 3%, que resultaram em adições de até 1 Mg ha⁻¹), ou seja, trata-se praticamente de uma calagem, e portanto este fato não pode ser atribuído exclusivamente ao gesso.

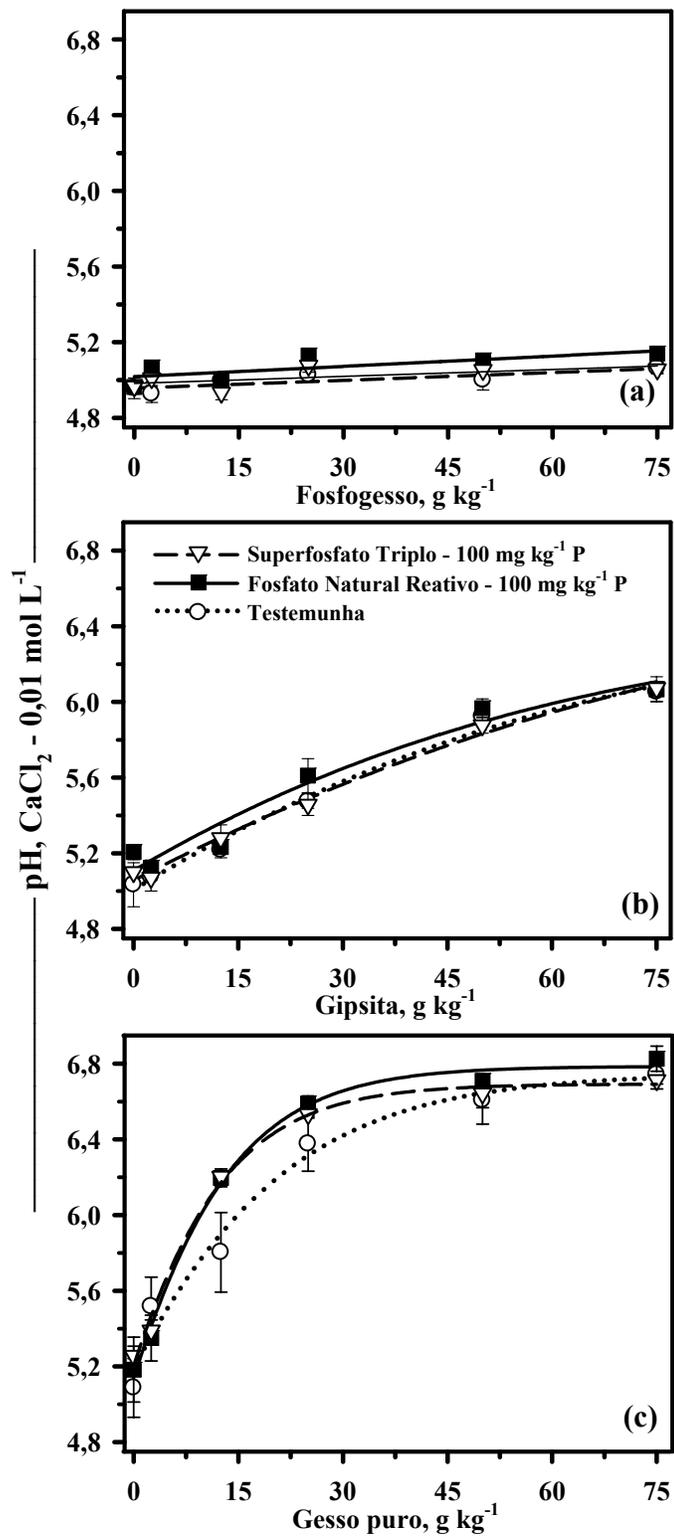


Figura 7 – Valores de pH em cloreto de cálcio em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses de fosfogesso (a), gipsita (b) e gesso puro (c), e da adição de duas fontes de fósforo

Tabela 19 - Desdobramento da interação entre fonte de fósforo e forma de gesso, sobre o pH de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, considerando a média das doses de gesso⁽¹⁾

Formas de gesso	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	Testemunha	Média do gesso
	(100 mg kg ⁻¹ P)	(100 mg kg ⁻¹ P)	(0 mg kg ⁻¹ P)	
	pH, CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹			
Fosfogesso	5,07	5,02	5,00	5,03 C
Gipsita	5,53	5,48	5,46	5,49 B
Gesso puro	6,14	6,12	6,02	6,09 A
Média da fonte	5,58	5,54	5,49	5,54 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

O gesso puro apresentou pureza > 99%, o que o torna próximo à neutralidade quando completamente dissociado em água. A gipsita, cujo pH é próximo de 7,0, pode conter alguns resquícios de impurezas básicas como carbonatos, que podem elevar o pH assim como citado por Toma et al., (1999). O pH do fosfogesso é o baixo, 3,36, provavelmente devido ao processo de fabricação que é realizado com ataque ácido à rocha, devendo conferir a característica de um composto com baixo pH, devido as impurezas deste processo.

Desta forma, além dos processos mencionados pelos Toma et al. (1999), o pH do insumo pode ter influenciado de alguma forma a ocorrência destes fatos, embora os mecanismos não tenham sido elucidados completamente. Trata-se de um resultado que não era esperado, pelo menos em tal magnitude.

Interferência do gesso na avaliação dos teores de P

O gesso afetou significativamente os teores de P disponível. Quando a disponibilidade do nutriente foi avaliada pelos métodos do Papel-Pi e Mehlich, houve aumento linear dos teores em função das doses de fosfogesso, mas não em função das doses de gipsita e gesso puro. No entanto, independentemente da forma de gesso empregada, os teores de P-resina foram afetados negativamente pela presença do insumo.

Estes resultados corroboram àqueles obtidos por Chhabra, Abrol e Singh (1981), Al-Merey et al. (2004), Misra, Tiwari e Prasad (2007) e Chien, Austin e Calvo (2009). Todos estes autores relataram diminuição nos teores de P disponível devido à interferência do gesso, sempre com métodos que empregavam o íon HCO₃⁻ e em solos alcalinos. Por empregar o NaHCO₃, a resina de troca iônica, também teve sua eficiência afetada pelo CaSO₄, que pode reagir com o

HCO_3^- , formando CaCO_3 que precipita e/ou adsorve o P disponível, conforme evidenciado por Chien, Austin e Calvo (2009).

Os mecanismos para tais fatos parecem estar bem explicados atualmente. No entanto esta era uma situação relatada apenas em solos com elevados teores naturais de gesso ou em solos alcalinos afetados por sais, situação em que o gesso é um importante insumo visando à recuperação destes solos, tornando-os novamente agricultáveis e sendo este o maior uso do gesso na agricultura (ALCORDO; RECHCIGL, 1993).

O presente trabalho apresenta resultados até então não encontrados na literatura, para um solo tropical ácido, altamente intemperizado, no qual o gesso é muito utilizado como condicionador de subsuperfície. Mesmo que tenha ficado evidente a interferência do gesso, a implicação prática deste fato não deve causar sérios problemas, visto que os teores de P foram fortemente subestimados apenas nas maiores doses de gesso. Estas elevadas doses utilizadas correspondem a quantidades de gesso que dificilmente são recomendadas ou aplicadas para a melhoria do ambiente radicular. Nota-se claramente que os problemas mais sérios ocorrem a partir de doses elevadas, correspondentes à 20 Mg ha^{-1} .

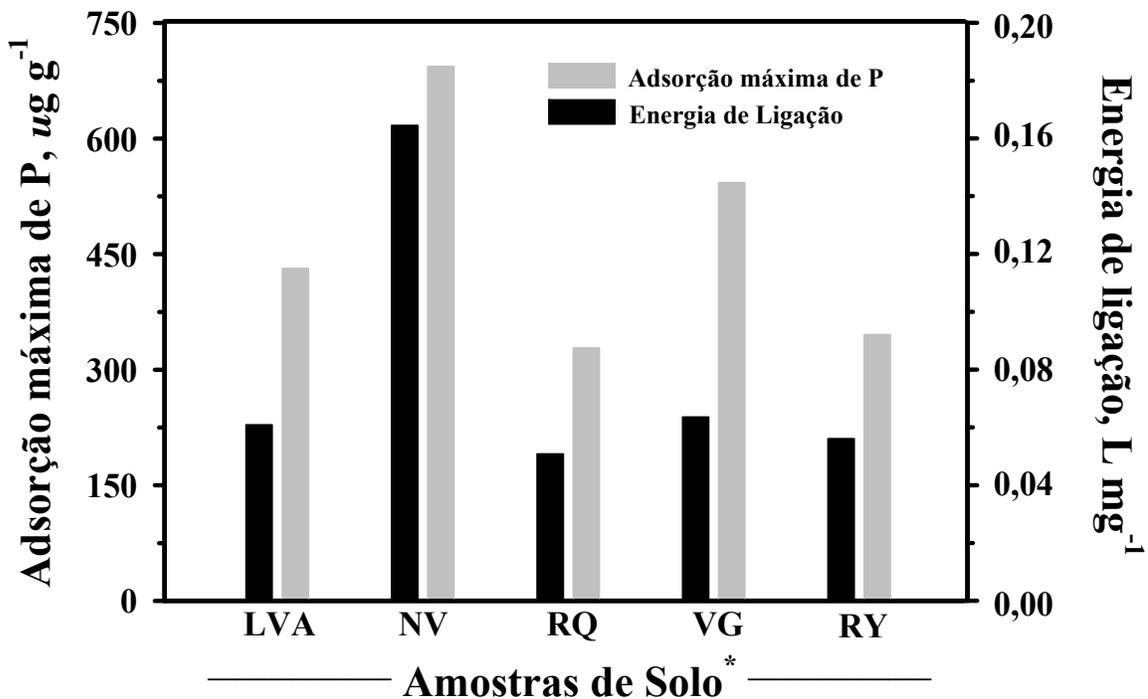
Alvarez V. et al. (1999) utilizam critério de recomendação de doses de gesso baseado no teor de argila do solo, assim como o preconizado por Raji et al. (1997), embora este critério apresente o inconveniente de considerar apenas o teor e não o tipo de argila. No entanto, as recomendações baseadas nesta premissa, raramente ultrapassam os $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Porém, vale ressaltar que baseado em outros critérios, as recomendações das doses de gesso podem ser maiores, e em várias regiões são aplicadas com eficiência doses que variam de 2 até 10 Mg ha^{-1} . Porém, mesmo os critérios adotados para a correção de solos sódicos, não resultariam em recomendações tão elevadas de gesso (PEREIRA, 1998) a ponto de causar problemas na avaliação do P disponível.

No entanto, já foram relatadas na literatura doses de gesso que superaram os 100 Mg ha^{-1} (MAYS; MORDVELT, 1986). No Brasil, uma situação passível de apresentar estes problemas, se refere à prática da “Irrigação branca”, devido às altíssimas doses de gesso aplicadas em faixa, principalmente na cultura do café. Certamente está é uma situação cuja escolha do método da resina para avaliar a disponibilidade de P deve ser cuidadosamente analisada.

2.5.3 Experimento III: Disponibilidade de fósforo em amostras de cinco solos após a adição de fosfogeno e fontes de fósforo

Capacidade máxima de adsorção de fósforo

A avaliação da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) se correlacionou com o conteúdo de argila das amostras de solo, sendo que as maiores quantidades de P foram adsorvidas nos solos que continham os maiores teores de argila (Tabela 6, Figuras 8 e 9). A mesma tendência foi observada para os dados da constante relacionada à energia de ligação (K), fato esperado uma vez que são parâmetros correlacionados, ou seja, de forma geral quanto maior é a CMAP maior é o valor da constante K (HERLIHY; McCARTHY, 2006).



* LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; NV: Nitossolo Vermelho; RQ: Neossolo Quartzarênico; VG: Vertissolo Hidromórfico; RY: Neossolo Flúvico

Figura 8 - Valores das constantes relacionadas à adsorção máxima e à energia de ligação, obtidos por meio do ajuste dos dados à isoterma de Langmuir

Dentre as propriedades físicas e químicas de um solo, o teor de argila é um dos mais importantes parâmetros que afetam a dinâmica e a disponibilidade de fósforo. No entanto, apenas

o teor de argila não é o suficiente para afirmar que determinado solo adsorverá grande quantidade de fósforo, pois solos que apresentam o mesmo teor de argila, necessariamente não adsorvem P na mesma magnitude (SANCHEZ; UEHARA, 1980).

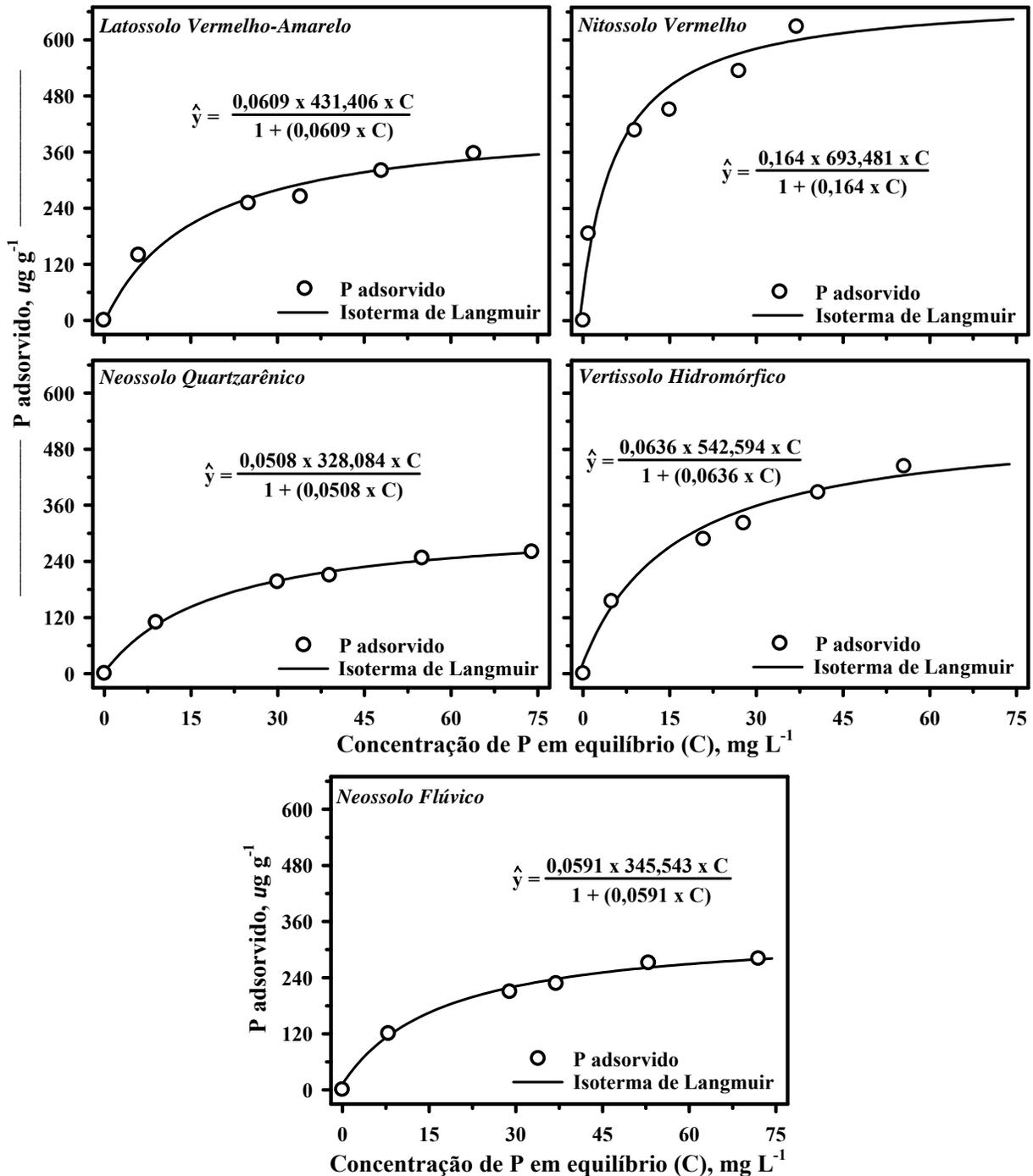


Figura 9 - Representação gráfica da capacidade máxima de adsorção de fósforo nas cinco amostras de solo, avaliada por meio das curvas de adsorção e ajuste da equação da isoterma de Langmuir

Fontes e Weed (1996) demonstraram a importância, além do teor de argila, da área superficial específica e da mineralogia da fração argila na adsorção de fosfato em Latossolos brasileiros. O teor de argila, por si só, fornece subsídios para a predição da maior ou menor adsorção de P, mas não para comparação direta apenas baseada por este parâmetro.

O processo de adsorção é de alta afinidade e compreendido como adsorção específica de esfera interna, envolvendo troca de ligantes com ânions, como o OH⁻ (HINGSTON et al., 1967). Assim, a afinidade de íon fosfato é muito grande principalmente com oxidróxidos de Fe e Al, amplamente distribuídos nos solos intemperizados. Galvez, Barrón e Torrent (1999) demonstraram que a afinidade do fosfato com a hematita é tão elevada que este íon passa a fazer parte da estrutura do mineral. Nestes casos, a dessorção de P é muito dificultada.

Lopes (1977), citado por Novais e Smyth (1999), estudou as características de adsorção de P em dez latossolos da região de cerrado, com teores de argila de 77 g kg⁻¹ a 540 g kg⁻¹, que apresentaram boa correlação com a adsorção máxima, variando de 0,39 até 1,74 µg g⁻¹ de P, demonstrando a boa correlação entre estas duas variáveis.

Não é possível comparar os valores obtidos no presente experimento com os obtidos por Lopes (1977), uma vez que não foi realizada a caracterização mineralógica das cinco amostras de solos utilizadas no presente trabalho, e o teor de argila, exclusivamente, não pode ser considerado para comparação entre diferentes classes de solo.

Teor de fósforo avaliado pelo extrator Mehlich

O extrator Mehlich foi sensível ao aumento nos teores de P em função da adição do nutriente contido no fosfógeno, nas cinco amostras de solos utilizadas. Com o estudo das equações de regressão observou-se que os incrementos variaram, por exemplo, desde 0,4 até 2,6 mg dm⁻³ de P para cada 1 g kg⁻¹ de fosfógeno adicionado (Tabela 20). As respostas à adição de P foram mais pronunciadas nos solos com os menores valores de CMAP. Da mesma forma, para todas as amostras o extrator foi sensível ao aumento dos teores em função das doses de P. Aumentos nos teores de P-Mehlich também foram observados por Vital et al. (2005) após a adição de doses de até 7,8 Mg ha⁻¹ de fosfógeno para a correção de um solo sódico.

Muitos dos dados obtidos podem ser explicados pelo teor de argila e pelas constantes relacionadas à CMAP. Na média de todos os tratamentos, a quantidade de P extraída foi de 60,

28, 146, 80 e 92 mg dm⁻³ de P (Tabelas 21, 22, 23, 24 e 25), para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Neossolo Quartzarênico (RQ), Vertissolo Hidromórfico (VG), Neossolo Flúvico (RY) e, respectivamente. Considerando que a adsorção máxima seguiu a sequência NV > VG > LVA > RY > RQ, nota-se que quanto maior a adsorção máxima, menor foi o teor P extraído. Esta correlação também é válida para o incremento de P via fosfogesso. A única exceção é feita ao caso do VG, que apresentou maior adsorção de P e maior teor de argila do que o LVA, no entanto a extração de P-Mehlich no primeiro foi maior do que no segundo (Figuras 10 e 13).

Tabela 20 - Equações de regressão para o teor de fósforo nas amostras de solo, avaliado pelo extrator Mehlich, em função das doses de fosfogesso

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fosfato Natural Reativo		Superfosfato Triplo	
	Equação	R ²	Equação	R ²
	————— Latossolo Vermelho-Amarelo —————			
0	$\hat{y} = 19,44 + 1,11^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 19,44 + 1,11^{**} x$	0,97
50	$\hat{y} = 31,61 + 1,17^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 26,45 + 1,10^{**} x$	0,97
100	$\hat{y} = 51,72 + 1,07^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 43,83 + 0,91^{**} x$	0,98
	————— Nitossolo Vermelho —————			
0	$\hat{y} = 9,38 + 0,38^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 9,38 + 0,38^{**} x$	0,97
50	$\hat{y} = 15,25 + 0,67^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 11,40 + 0,52^{**} x$	0,97
100	$\hat{y} = 25,09 + 0,70^{**} x$	0,93	$\hat{y} = 15,64 + 0,59^{**} x$	0,99
	————— Neossolo Quartzarênico —————			
0	$\hat{y} = 41,68 + 1,97^{**} x$	0,96	$\hat{y} = 41,68 + 1,97^{**} x$	0,96
50	$\hat{y} = 87,69 + 2,15^{**} x$	0,95	$\hat{y} = 86,57 + 2,14^{**} x$	0,96
100	$\hat{y} = 132,94 + 2,57^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 142,08 + 2,30^{**} x$	0,98
	————— Vertissolo Hidromórfico —————			
0	$\hat{y} = 23,55 + 1,01^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 23,55 + 1,01^{**} x$	0,97
50	$\hat{y} = 41,91 + 1,22^{**} x$	0,94	$\hat{y} = 51,18 + 1,30^{**} x$	0,94
100	$\hat{y} = 68,66 + 1,67^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 72,17 + 1,56^{**} x$	0,98
	————— Neossolo Flúvico —————			
0	$\hat{y} = 37,87 + 1,05^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 37,87 + 1,05^{**} x$	0,98
50	$\hat{y} = 64,59 + 1,18^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 60,40 + 1,17^{**} x$	0,97
100	$\hat{y} = 83,76 + 1,22^{**} x$	0,96	$\hat{y} = 85,55 + 1,21^{**} x$	0,98

** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Este resultado pode ser explicado pelo fato da solução Mehlich não ser adequada para solos alcalinos, como é o caso do VG, uma vez que atua de forma seletiva a determinadas frações

de P, extraindo principalmente P ligado a Ca (KUO, 1996), e não apenas o P lábil. Como Vertissolos apresentam elevados teores de Ca^{2+} e normalmente os teores de óxidos de Fe e Al não são significativos, a maior fração de P está ligada ao Ca (SILVEIRA et al., 2006). Justamente é a fração mais extraída por esta solução, que apresenta pH na faixa de maior solubilidade de compostos do tipo P-Ca (pH 2,0 a 3,0) (HAVLIN et al., 2005). Portanto considera-se que grande parte desta fração de P extraída, na verdade encontra-se em formas indisponíveis, visto que a amostra apresentou $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$ 7,3. Pela ação do extrator e as características do solo em questão, este não seria a solução mais indicada para avaliar a disponibilidade de P (RAIJ, 2003).

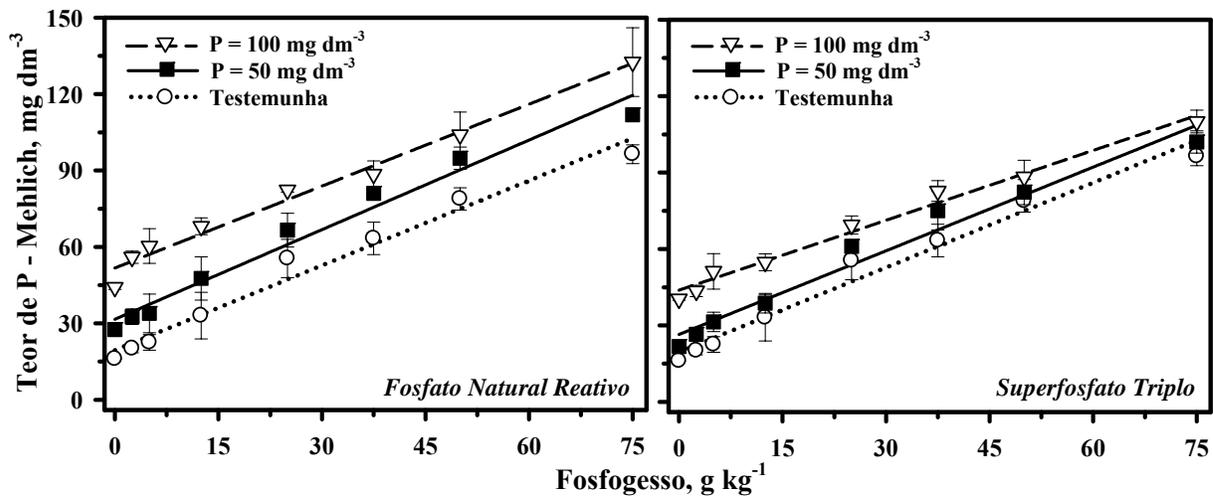


Figura 10 - Teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após a adição de doses de fosfogeno e de fontes de fósforo

Tabela 21 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de fosfogeno⁽¹⁾

Dose de fósforo	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
mg kg ⁻¹	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	48 Ca	48 Ca	48 C
50	62 Ba	55 Bb	58 B
100	80 Aa	68 Ab	74 A
Média das fontes	63 a	57 b	60 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Com relação às fontes de P utilizadas, para LVA, NV e VG os teores obtidos nos tratamentos com superfosfato triplo (SFT) foram estatisticamente diferentes daqueles com fosfato natural reativo (FNR) (Tabelas 21, 22 e 24; Figuras 10, 11 e 13), enquanto que para RQ e RY, não houve diferença em função das fontes (Tabelas 23 e 25; Figuras 12 e 14).

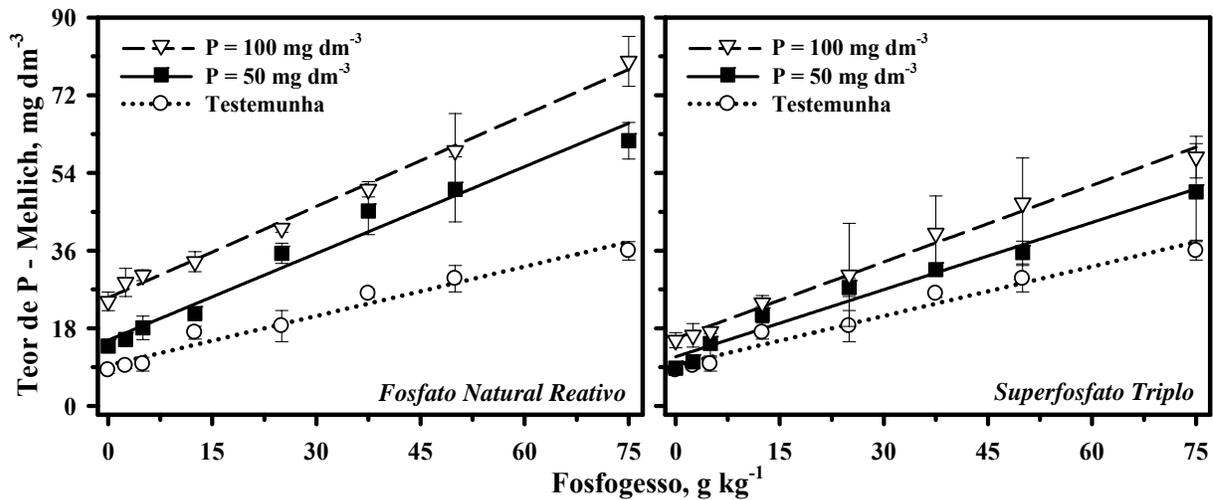


Figura 11 - Teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Nitossolo Vermelho, após a adição de doses de fosfogeno e de fontes de fósforo

Tabela 22 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de fosfogeno⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
0	19 Ca	19 Ca	19 C
50	33 Ba	25 Bb	29 B
100	43 Aa	31 Ab	37 A
Média das fontes	32 a	25 b	28 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Para LVA e NV, os teores de P extraídos após a adição de FNR foram significativamente superiores àqueles obtidos quando se utilizou SFT. Conforme explicado no experimento II, em virtude do tipo de ação da solução Mehlich, os teores de P extraídos em solos que receberam fosfatos naturais geralmente são superestimados. Devido a dissolução do fertilizante ser maior em

condições ácidas, a avaliação da disponibilidade de P pode ser muito prejudicada, em função da extração e determinação de frações ainda não disponíveis.

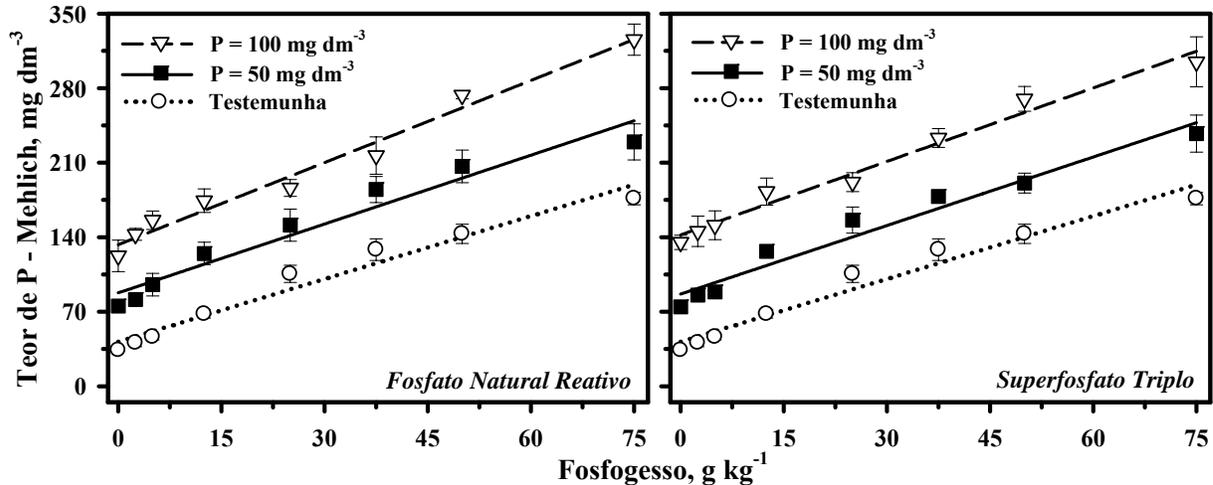


Figura 12 - Teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Neossolo Quartzarênico, após a adição de doses de fosfógeno e de fontes de fósforo

Tabela 23 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de fosfógeno⁽¹⁾

Dose de fósforo	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
mg kg ⁻¹	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	93	93	93 C
50	144	142	143 B
100	200	202	201 A
Média das fontes	146	146	146 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

No entanto, para VG (Figura 13) o comportamento foi oposto àquele observado para NV e LVA. Na média das doses de P, os teores obtidos na presença de SFT foram superiores àqueles observados na presença de FNR. Embora estatisticamente diferentes, os teores foram muito próximos, 78 e 83 mg dm⁻³ de P, para FNR e SFT, respectivamente. O desdobramento da interação entre fonte de P e dose de P (considerando a média das doses de fosfógeno) demonstrou que das três doses testadas, apenas na dose 50 mg kg⁻¹ de P houve diferença

significativa entre as fontes, já para a testemunha (0 mg kg⁻¹ de P) e para a dose 100 mg kg⁻¹ de P, os teores extraídos foram semelhantes estatisticamente, independentemente da fonte (Tabela 24).

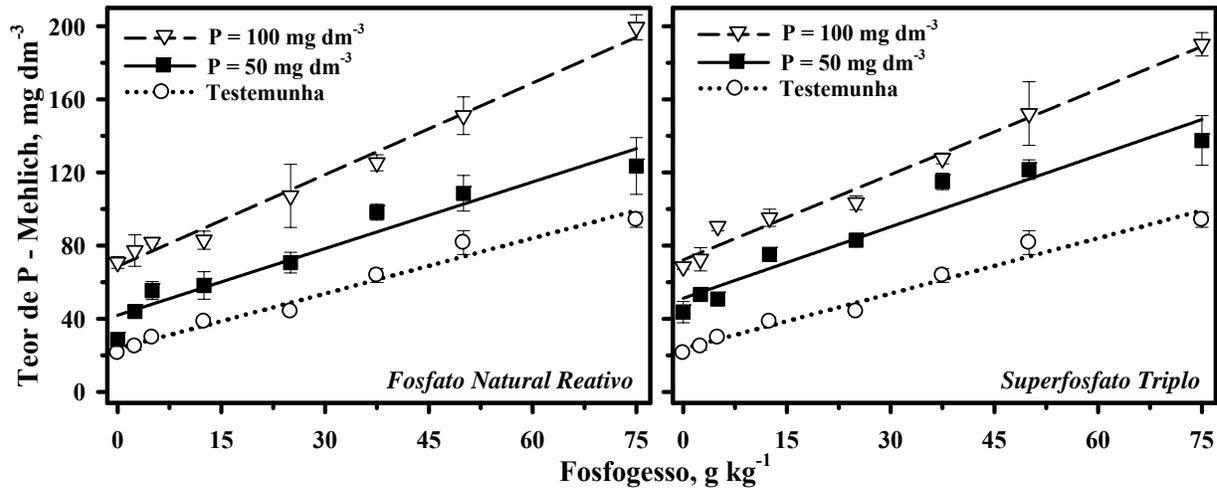


Figura 13 - Teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, após a adição de doses de fosfogeno e de fontes de fósforo

Tabela 24 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de fosfogeno⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	50 Ca	50 Ca	50 C
50	73 Bb	85 Ba	79 B
100	112 Aa	113 Aa	112 A
Média das fontes	78 b	83 a	80 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Já no RQ e no RY não foi observada diferença significativa em função da fonte empregada. Inclusive, considerando a média das doses de P, os teores foram exatamente os mesmos para ambas as fontes, sendo 92 e 146 mg dm⁻³ de P para RY e RQ, respectivamente (Tabelas 23 e 25). Em função da baixa capacidade de adsorção destes solos e da ação da solução

extratora, grande fração do P adicionado, seja proveniente do fosfogesso, FNR ou SFT, foi extraído e quantificado (Figuras 12 e 14).

Como exemplo, pode-se citar o teor de 125 mg dm^{-3} de P obtido no RQ em resposta ao tratamento n° 17 (100 mg kg^{-1} de P como FNR e 0 g kg^{-1} de fosfogesso – Tabela 7). Como o teor inicial de P-Mehlich era 34 mg dm^{-3} , este resultado indica a baixa adsorção de P no solo, uma vez que grande parte do P adicionado via FNR foi recuperado pelo extrator. Comparando-se com o NV, cujo teor inicial era de 8 mg dm^{-3} de P-Mehlich, no mesmo tratamento mencionado o teor extraído foi de apenas 24 mg dm^{-3} de P, evidenciando a dificuldade de extração de P de solos argilosos e a importância dos atributos do solo na recuperação do P adicionado.

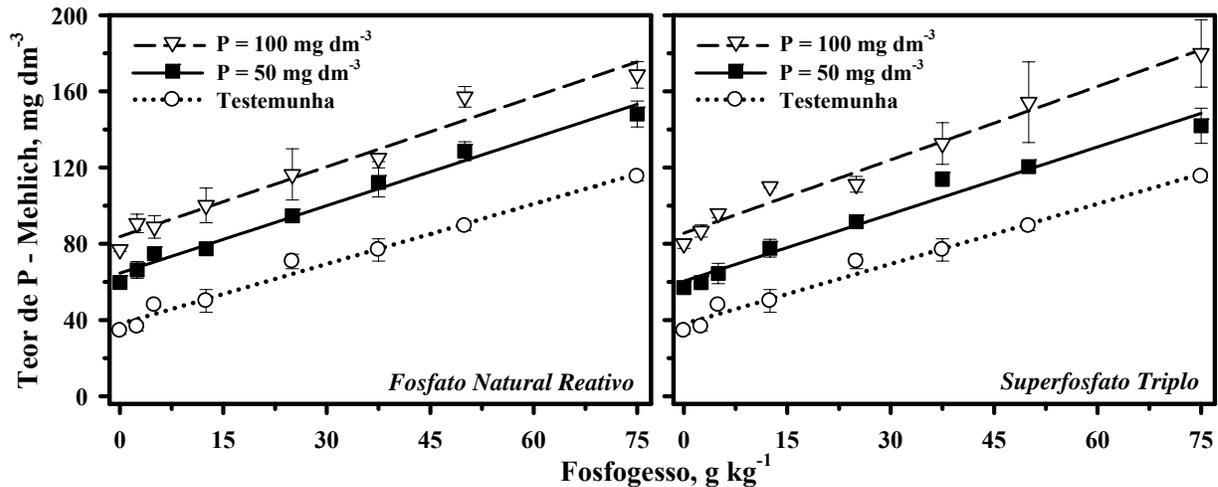


Figura 14 - Teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Neossolo Flúvico, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 25 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Flúvico, avaliado pelo extrator Mehlich, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	65 Ca	65 Ca	65 C
50	95 Ba	91 Bb	93 B
100	115 Aa	119 Aa	117 A
Média das fontes	92 a	92 a	92 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Teor de fósforo avaliado pelo método da resina de troca iônica

O fosfogesso interferiu negativamente na avaliação da disponibilidade de P pela resina de troca iônica. De forma geral, o comportamento seguiu o padrão observado no experimento II (Tabela 26). Ocorreu, na maioria dos casos, aumento inicial dos teores de P até uma determinada dose de fosfogesso, correspondente ao teor máximo extraível, a partir da qual a resina passou a não ser sensível ao incremento de P via fosfogesso, resultando em diminuição dos teores extraídos.

Somente o teor de argila e os dados referentes à adsorção máxima de P não foram suficientes para justificar os teores de P extraídos. Na média de todos os tratamentos, os teores extraídos foram próximos, sendo 28, 23, 36, 29 e 24 mg dm⁻³ de P para LVA, NV, RQ, VG e RY, respectivamente (Tabelas 27, 28, 29, 30 e 31). Considerando que a adsorção máxima seguiu a sequência NV > VG > LVA > RY > RQ, nota-se que em algumas amostras como, por exemplo, o RY e o VG, outros fatores interferiram na extração de P, que não somente a CMAP e o teor de argila.

No caso do LVA, houve resposta tanto para as fontes quanto para as doses de P, além da interação significativa entre ambas variáveis. Na média das doses de fosfogesso, o emprego de SFT resultou em teores de P estatisticamente superiores àqueles obtidos com o uso de FNR (Figura 15, Tabela 27).

Para o NV, a extração de P não foi influenciada pela fonte utilizada, porém as fontes apresentaram tendências distintas frente à presença de fosfogesso (Figura 16). Para os tratamentos com SFT o comportamento foi semelhante ao observado no LVA, com aumento inicial nos teores, seguido de diminuição e estabilização, conforme ajuste ao modelo peak gaussian. Quando se utilizou o FNR, foi ajustado o modelo exponencial para explicar a relação entre doses de fosfogesso e teores de P, ou seja, houve diminuição dos teores extraídos em função do aumento das doses de fosfogesso. Para as duas fontes a resina foi sensível às doses de P (Tabela 28).

Nas três maiores doses de fosfogesso, os teores extraídos no NV foram semelhantes, independente da dose de P aplicada. Isto indica que os problemas causados pelo CaSO₄ se fazem presentes na extração de P pela resina, confirmando a hipótese de que o gesso pode interferir na extração do P disponível (Al-MEREY et al., 2004; CHIEN; AUSTIN; CALVO, 2009).

Tabela 26 - Equações de regressão para o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em função das doses de fosfogesso

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fosfato Natural Reativo		Superfosfato Triplo	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Latossolo Vermelho-Amarelo				
0	$\hat{y} = 8,24 + 17,27^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-16,19^{**}}{8,22^{**}} \right)^2 \right]$	0,96	$\hat{y} = 8,24 + 17,27^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-16,19^{**}}{8,22^{**}} \right)^2 \right]$	0,96
50	$\hat{y} = 13,57 + 20,72^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-12,94^{**}}{10,83^{**}} \right)^2 \right]$	0,98	$\hat{y} = 12,82 + 39,07^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-12,62^{**}}{11,96^{**}} \right)^2 \right]$	0,98
100	$\hat{y} = 27,49 + 32,34^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-11,75^{**}}{8,75^{**}} \right)^2 \right]$	0,97	$\hat{y} = 23,72 + 50,89^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-7,92^{**}}{12,42^{**}} \right)^2 \right]$	0,99
Nitossolo Vermelho				
0	$\hat{y} = 4,75 + 18,10^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-16,99^{**}}{14,25^{**}} \right)^2 \right]$	0,95	$\hat{y} = 4,75 + 18,10^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-16,99^{**}}{14,25^{**}} \right)^2 \right]$	0,95
50	$\hat{y} = 33,74^{(-0,02^{**} X)}$	0,93	$\hat{y} = 4,64 + 30,12^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-11,40^{**}}{16,56^{**}} \right)^2 \right]$	0,98
100	$\hat{y} = 47,36^{(-0,02^{**} X)}$	0,95	$\hat{y} = 7,74 + 46,43^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-5,47^{*}}{17,64^{**}} \right)^2 \right]$	0,99
Neossolo Quartzarênico				
0	$\hat{y} = 12,22 + 19,77^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-14,08^{**}}{7,91^{**}} \right)^2 \right]$	0,95	$\hat{y} = 12,22 + 19,77^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-14,08^{**}}{7,91^{**}} \right)^2 \right]$	0,95
50	$\hat{y} = 16,85 + 22,30^{*} \left[-0,5 \left(\frac{X-3,71^{ns}}{28,70^{ns}} \right)^2 \right]$	0,93	$\hat{y} = 23,51 + 44,09^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-7,68^{**}}{5,78^{**}} \right)^2 \right]$	0,98
100	$\hat{y} = 28,11 + 36,74^{*} \left[-0,5 \left(\frac{X-1,69^{ns}}{28,02^{ns}} \right)^2 \right]$	0,92	$\hat{y} = 23,47 + 71,03^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-9,16^{**}}{11,65^{**}} \right)^2 \right]$	0,99
Vertissolo Hidromórfico				
0	$\hat{y} = 24,50^{(-0,00^{**} X)}$	0,94	$\hat{y} = 24,50^{(-0,00^{**} X)}$	0,94
50	$\hat{y} = 31,95^{(-0,01^{**} X)}$	0,60	$\hat{y} = 45,59 + 49,00^{**(-0,04^{**} X)}$	0,96
100	$\hat{y} = 48,36^{(-0,01^{**} X)}$	0,82	$\hat{y} = 21,01 + 89,89^{**(-0,08^{**} X)}$	0,99
Neossolo Flúvico				
0	$\hat{y} = 7,27 + 10,39^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-9,02^{**}}{12,52^{**}} \right)^2 \right]$	0,98	$\hat{y} = 7,27 + 10,39^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-9,02^{**}}{12,52^{**}} \right)^2 \right]$	0,98
50	$\hat{y} = 11,07 + 29,97^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-5,58^{*}}{15,02^{**}} \right)^2 \right]$	0,99	$\hat{y} = 15,06 + 18,73^{ns} \left[-0,5 \left(\frac{X-7,13^{*}}{4,97^{ns}} \right)^2 \right]$	0,73
100	$\hat{y} = 18,07 + 16,79^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-7,19^{**}}{4,36^{**}} \right)^2 \right]$	0,89	$\hat{y} = 6,73 + 76,15^{ns} \left[-0,5 \left(\frac{X-14,66^{ns}}{32,78^{ns}} \right)^2 \right]$	0,97

*, **, ns Significativo ao nível de 5% e 1 % de probabilidade e, não significativo, respectivamente

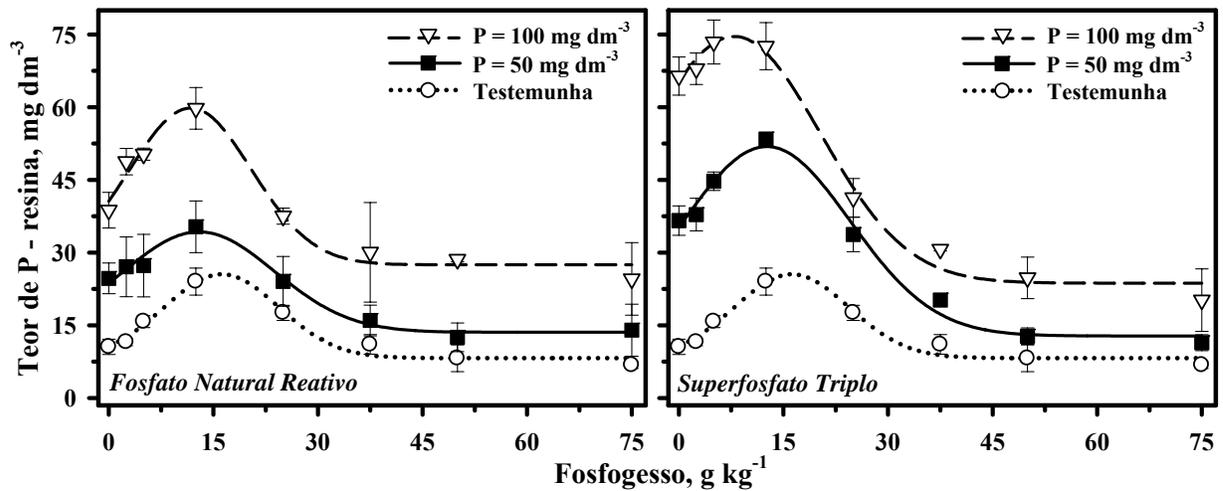


Figura 15 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 27 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
mg kg ⁻¹	——— Teor de P, mg dm ⁻³ ———		
0	13 Ca	13 Ca	13 C
50	23 Bb	31 Ba	27 B
100	40 Ab	50 Aa	45 A
Média das fontes	25 b	31 a	28 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

No NV, com a fonte SFT, o modelo permitiu estimar que as doses 17, 11 e 5 g kg⁻¹ de fosfogesso foram aquelas que proporcionaram os maiores teores de P, sendo 23, 35 e 54 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Estas doses foram próximas àquelas observadas no caso do LVA, com 13, 13 e 8 g kg⁻¹ de fosfogesso, correspondendo aos teores máximos de 25, 52 e 75 mg dm⁻³ de P, respectivamente (Tabela 26, Figuras 15 e 16).

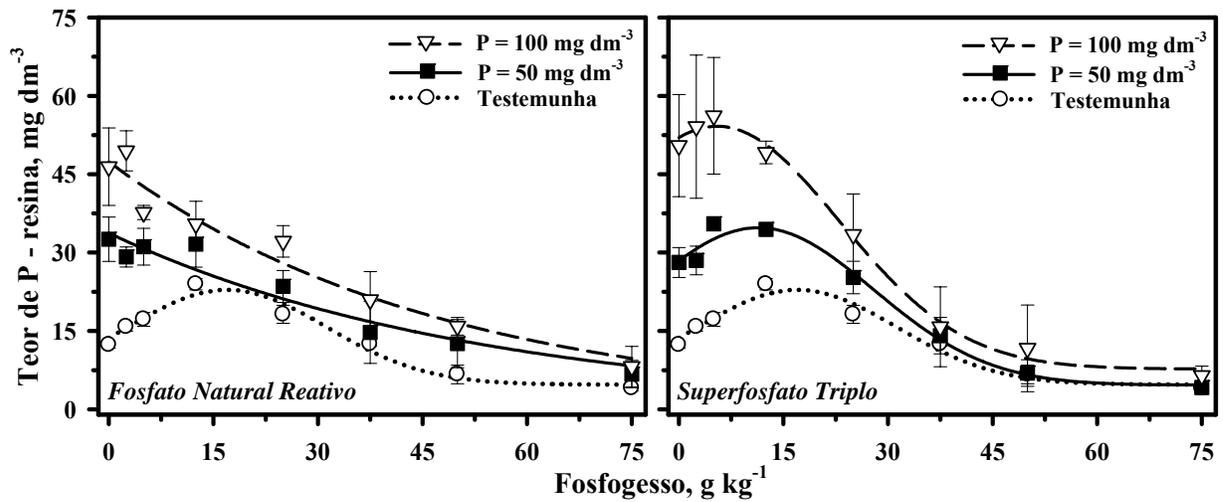


Figura 16 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Nitossolo Vermelho, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 28 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	14	14	14 C
50	23	22	22 B
100	31	35	33 A
Média das fontes	23	24	23 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Assim como o LVA e o NV, para o RQ o comportamento em função das fontes de P resultou em diferenças estatísticas entre FNR e SFT. No caso do SFT, ficou evidente a interferência do gesso na extração de P (Figura 17, Tabela 29). Na dose 100 mg kg⁻¹ de P, o teor máximo estimado foi de 94 mg dm⁻³ de P em resposta à dose 9 g kg⁻¹ de fosfogesso. No entanto, com o aumento das doses, os teores diminuíram para 24 mg dm⁻³ de P, ou seja, diminuição de 74% nos teores de P em função do incremento de fosfogesso.

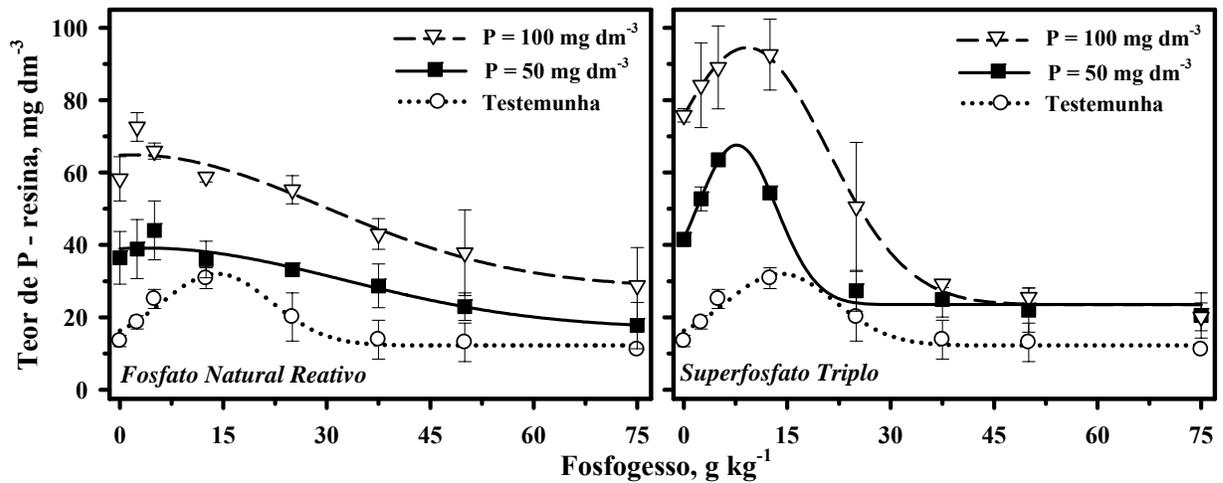


Figura 17 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Neossolo Quartzarênico, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 29 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	18 Ca	18 Ca	18 C
50	32 Bb	38 Ba	35 B
100	53 Aa	58 Aa	55 A
Média das fontes	34 b	38 a	36 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

No caso do VG, o comportamento foi diferente de todos os demais solos, não havendo aumento no teor de P em resposta a adição do fosfogesso (Figura 18). Em todas as situações de fontes e doses de P, o modelo exponencial foi o que melhor explicou a relação entre as doses de fosfogesso e os teores de P. Houve diferença significativa entre as fontes, sendo SFT > FNR na média das doses de P (Tabela 30).

No caso do SFT a diminuição nos teores de P em resposta as doses de fosfogesso foi expressiva. O teor de P extraído diminuiu de 103 mg dm⁻³ de P para 14 mg dm⁻³ de P com o

aumento das doses de fosfogesso. Aliás, na dose de 25 g kg⁻¹ de fosfogesso, os teores extraídos para todos os tratamentos foram semelhantes, independente da quantidade de P que havia sido previamente adicionada (via SFT, FNR ou fosfogesso). Neste solo, devido ao elevado teor natural de cálcio somado àquele adicionado via fosfogesso, os problemas na extração de P relatados por Chien, Austin e Calvo (2009) são muito importantes, resultando em teores subestimados.

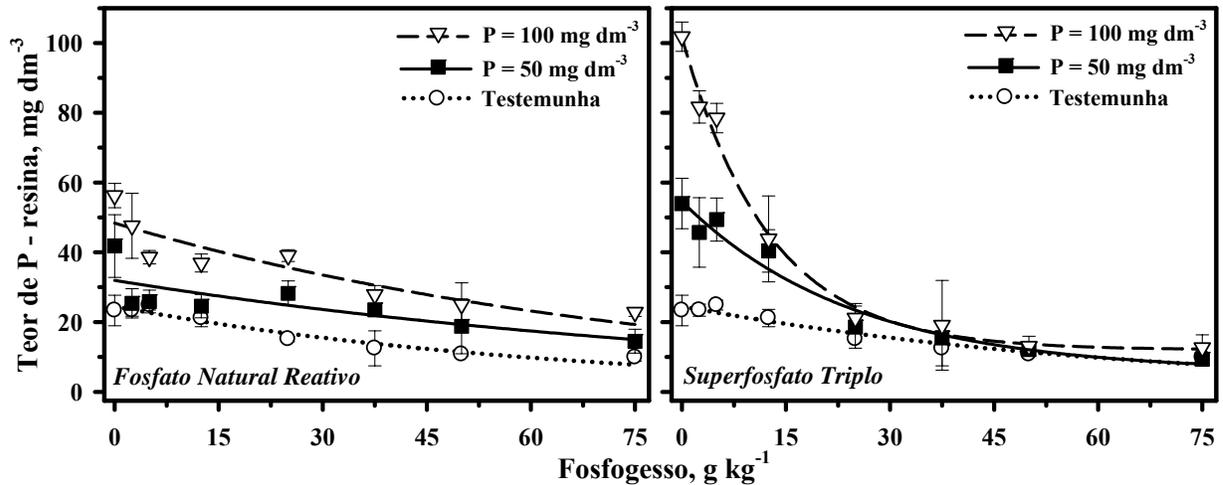


Figura 18 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 30 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	18 Ba	18 Ca	18 C
50	25 Ba	31 Ba	28 B
100	37 Ab	46 Aa	41 A
Média das fontes	27 b	32 a	29 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Com relação ao RY, as diferenças entre as fontes também foram pronunciadas (Figura 19), resultando em teores médios de 29 mg dm⁻³ de P para os tratamentos com SFT e de

19 mg dm⁻³ para os tratamentos com FNR, diferindo estatisticamente (Tabela 31). Analisando-se apenas a dose de 100 mg kg⁻¹ de P os teores médios extraídos nos tratamentos com SFT foram o dobro daqueles extraídos nos tratamentos que receberam a aplicação de P na forma de FNR. Este resultado demonstra a baixa disponibilidade de P após a adição de fosfatos naturais em solos com pH elevado (6,7), como é o caso do RY.

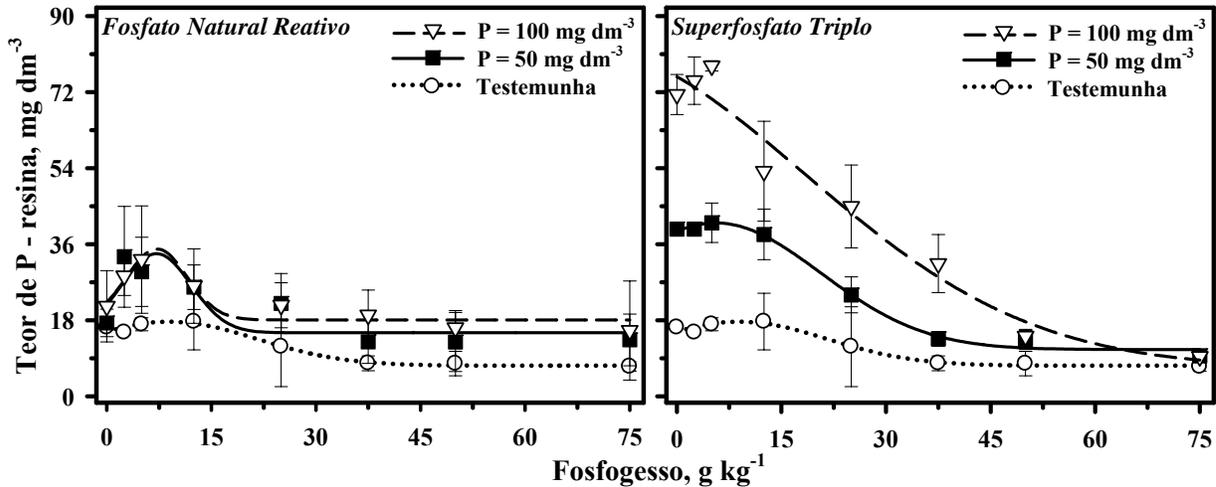


Figura 19 - Teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Neossolo Flúvico, após a adição de doses de fosfoggio e de fontes de fósforo

Tabela 31 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Flúvico, avaliado pelo método da resina de troca iônica, considerando a média das doses de fosfoggio⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	13 Ba	13 Ca	13 C
50	21 Ab	27 Ba	24 B
100	23 Ab	47 Aa	35 A
Média das fontes	19 b	29 a	24 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Exceto para o NV, os teores de P quando se utilizou SFT foram superiores àqueles observados quando se empregou FNR, independentemente da dose adicionada. Estes resultados

podem ser explicados pela premissa de que após a adição de FNR apenas uma pequena fração do P contido no fertilizante é prontamente disponível (SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980). Sabe-se que a resina é sensível apenas ao P lábil (RAIJ, 2003), portanto a disponibilidade de P após a aplicação de uma fonte prontamente solúvel, como é o caso do SFT, normalmente é maior do que aquela observada em solos que receberam fosfatos naturais. Soma-se a isto, o fato de que o pH da solução é tamponado próximo de 7,0 durante a extração, fato que não favorece a dissolução de fosfatos naturais.

Nas cinco amostras de solo, considerando a média das duas fontes empregadas, a resina foi sensível ao aumento nos teores extraídos em resposta às doses de P. O desdobramento da interação entre as variáveis fonte e dose de P, demonstrou que apenas em dois casos isto não ocorreu: para o VG não houve diferença significativa entre a testemunha e a dose 50 mg kg⁻¹ de P-FNR (Tabela 30), e para RY a resina não demonstrou diferença significativa entre as doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P-FNR (Tabela 31).

Esta falta de sensibilidade do método ocorreu para os tratamentos com FNR, que é dissociado/solubilizado preferencialmente em condições ácidas (RAJAN et al., 1991). Entretanto, estes dois casos ocorreram nos solos cujos valores de pH eram 6,7 e 7,3, portanto, inadequados para a total solubilização do fertilizante.

A diferença significativa observada no caso do VG, por exemplo, entre as doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, se deve ao emprego da mistura das resinas aniônica e catiônica, o que diminui a força iônica da solução e favorece a extração de P, devido às cargas negativas que representam “dreno” para cátions presentes na solução (RAIJ; QUAGGIO, 2001). Durante as 16 horas de extração, mesmo que as condições de pH não sejam favoráveis à solubilização do fertilizante, uma pequena fração do insumo pode se dissociar em virtude deste mecanismo.

Mesmo em solos com características muito contratantes, como é o caso das cinco amostras utilizadas, a presença do gesso pode diminuir a eficiência da resina de troca iônica em extrair P. Não se pode correlacionar diretamente as quantidades de fosfogesso utilizadas neste experimento de incubação (40 g de cada amostra de solo), com as doses normalmente recomendadas para situações de campo, seja para a correção de sodicidade ou para melhoria na subsuperfície do solo. No entanto, com base nos resultados permite-se afirmar que o fosfogesso pode interferir negativamente na avaliação da disponibilidade de P, subestimando os teores extraídos.

A principal explicação para estes teores subestimados está relacionada às reações descritas por Chien, Austin e Calvo (2009). Estes autores comprovaram que a diminuição nos teores de P extraídos está relacionada à formação de CaCO_3 , após a reação entre o CaSO_4 presente naturalmente no solo ou adicionado a ele, e o HCO_3^- da solução empregada na extração. Esta observação até então havia sido relatada em solos gipsíferos (alto teor natural de CaSO_4) ou em solos calcareos tratados com gesso. O presente trabalho apresentou resultados que confirmam estes mecanismos em solos brasileiros com características físicas e químicas bastante distintas, porém que apresentam potencialidades para o emprego do gesso.

Teor de fósforo avaliado pelo método do Papel-Pi

A avaliação da disponibilidade de P por meio do Papel-Pi não foi influenciada pelas doses de fosfogesso, da mesma forma como observado no caso da resina. Mesmo com o apresentando similar princípio de extração, estes métodos apresentaram diferentes tendências em função do fosfogesso. De forma geral, o comportamento observado para os teores de P-Papel-Pi foi semelhante aquele observado com o uso da solução extratora Mehlich, principalmente no que diz respeito ao aumento no teor de P via fosfogesso.

Para todas as situações de fontes e doses de P testadas, nas cinco amostras de solo, o modelo linear foi aquele que mais adequadamente explicou a relação entre as doses de fosfogesso e os teores extraídos. O incremento de P via fosfogesso variou de 0,8 a 1,7 mg dm^{-3} de P para cada 1 g kg^{-1} de fosfogesso adicionado (Tabela 32). Nas cinco amostras, os tratamentos com SFT foram estatisticamente superiores àqueles com o emprego do FNR (Tabelas 33, 34, 35, 36 e 37).

Considerando o resultado médio das fontes, o Papel-Pi foi sensível à elevação dos teores em função das doses de P. No entanto, quando se considera o comportamento isolado das fontes, notam-se diferenças com relação às doses. Para SFT, os teores extraídos em função das doses de P utilizadas foram sempre significativamente diferentes, com 100 mg kg^{-1} de P > 50 mg kg^{-1} de P > testemunha.

Já no caso do FNR, para LVA e NV a análise de desdobramento da interação entre fonte e dose de P demonstrou não haver diferença significativa entre as doses utilizadas. No caso do RQ, VG e RY, pelo menos uma dose de P diferiu significativamente das demais, embora os teores tenham sido muito próximos.

Tabela 32 - Equações de regressão para o teor de fósforo nas amostras de solo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em função das doses de fosfogesso

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fosfato Natural Reativo		Superfosfato Triplo	
	Equação	R ²	Equação	R ²
————— Latossolo Vermelho-Amarelo —————				
0	$\hat{y} = 7,82 + 1,25^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 7,82 + 1,25^{**} x$	0,99
50	$\hat{y} = 9,50 + 1,27^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 24,58 + 1,33^{**} x$	0,99
100	$\hat{y} = 15,72 + 1,23^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 51,84 + 1,26^{**} x$	0,99
————— Nitossolo Vermelho —————				
0	$\hat{y} = 5,75 + 0,81^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 5,75 + 0,81^{**} x$	0,99
50	$\hat{y} = 5,60 + 0,94^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 17,23 + 0,83^{**} x$	0,97
100	$\hat{y} = 9,61 + 0,90^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 24,73 + 1,00^{**} x$	0,98
————— Neossolo Quartzarênico —————				
0	$\hat{y} = 8,30 + 1,55^{**} x$	0,98	$\hat{y} = 8,30 + 1,55^{**} x$	0,98
50	$\hat{y} = 10,28 + 1,63^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 24,23 + 1,66^{**} x$	0,99
100	$\hat{y} = 13,12 + 1,76^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 52,05 + 1,69^{**} x$	0,98
————— Vertissolo Hidromórfico —————				
0	$y = 7,62 + 0,84^{**} x$	0,99	$y = 7,62 + 0,84^{**} x$	0,99
50	$y = 7,29 + 0,92^{**} x$	0,98	$y = 27,29 + 0,78^{**} x$	0,98
100	$y = 7,91 + 1,10^{**} x$	0,99	$y = 42,21 + 0,99^{**} x$	0,94
————— Neossolo Flúvico —————				
0	$\hat{y} = 14,25 + 0,94^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 14,25 + 0,94^{**} x$	0,99
50	$\hat{y} = 15,07 + 1,15^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 42,60 + 1,07^{**} x$	0,97
100	$\hat{y} = 14,08 + 1,22^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 83,96 + 0,78^{**} x$	0,93

***, ns Significativo ao nível de 5% e 1 % de probabilidade e, não significativo, respectivamente

Esta pequena sensibilidade do método em diferenciar as doses de P, quando utilizado o FNR, se deve ao efeito de íon comum de cálcio (HABIB et al., 1998). Devido ao CaSO₄ apresentar maior solubilidade do que o FNR, o CaSO₄ se dissocia primeiro, aumentando a atividade de Ca²⁺ e SO²⁻. Como não há “dreno” para os cátions presentes na solução, como é o caso da mistura das resinas catiônica e aniônica, o FNR não é solubilizado devido ao Ca²⁺ presente na solução, fato que não favorece a dissolução de fosfatos naturais.

Este resultado é bastante diferente daquele observado na avaliação dos teores de P realizado por Mehlich, no qual demonstraram-se diferenças significativas entre todas as doses de P via FNR. Esta diferença se deve ao tipo de ação do método, que é realizada por dissolução ácida dos compostos fosfáticos da fase sólida do solo, geralmente resultando em valores superestimados em solos que receberam fosfatos naturais. No caso do Papel-Pi, emprega-se uma

solução salina ($\text{KCl } 0,02 \text{ mol L}^{-1}$) com o intuito de simular a força iônica da solução do solo, portanto com o princípio diferente da solução Mehlich, e ao fato que se atribui as diferenças na avaliação de P, em solos que receberam FNR.

Os teores médios extraídos, considerando todos os tratamentos, foram 52, 34, 61, 40 e 57 mg dm^{-3} de P para LVA, NV, RQ, VG, e RY, respectivamente (Figuras 20, 21, 22, 23 e 24). Estes resultados estão de acordo com as constantes relacionadas à capacidade máxima de adsorção de P e os teores de argila das amostras. Isto é, quanto maior o teor de argila e a CMAP, menor foi a recuperação do P adicionado via fosfogesso, SFT ou FNR.

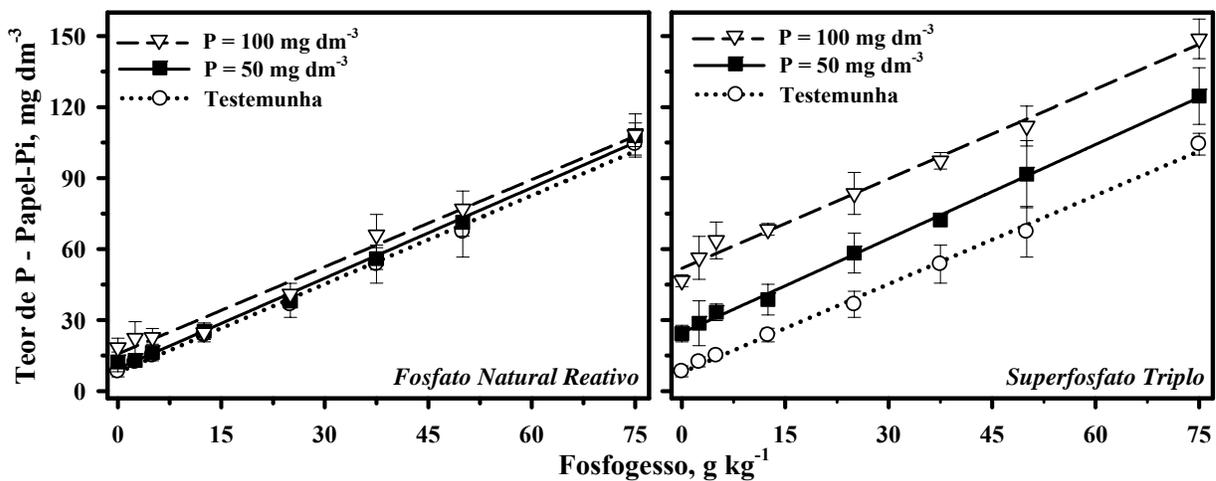


Figura 20 - Teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 33 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
mg kg^{-1}	Teor de P, mg dm^{-3}		
0	40 Aa	40 Ca	40 C
50	43 Ab	59 Ba	51 B
100	48 Ab	85 Aa	66 A
Média das fontes	44 b	61 a	52 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

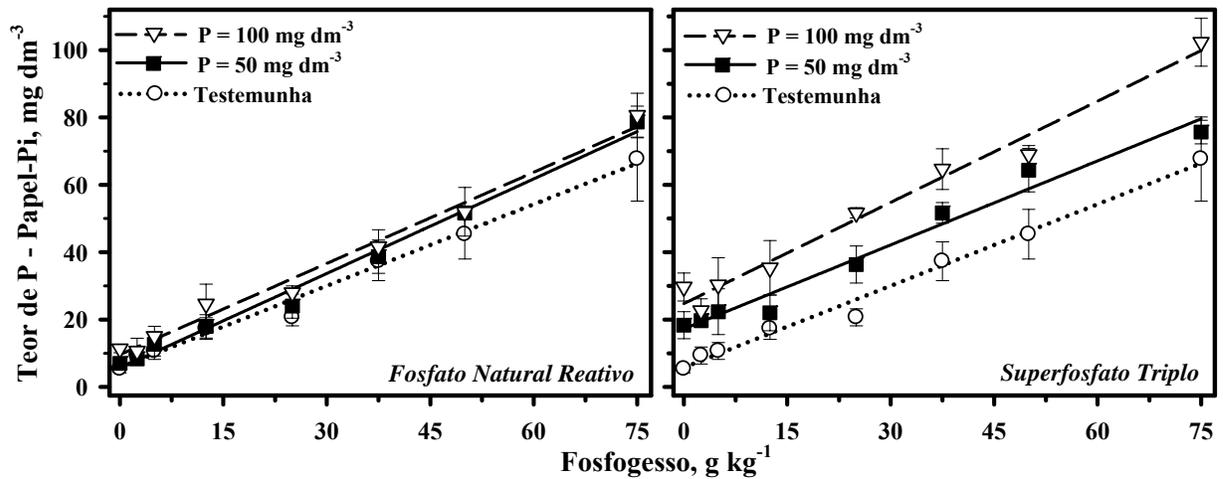


Figura 21 - Teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Nitossolo Vermelho, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 34 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de fosfogesso⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
0	27 Aa	27 Ca	27 C
50	30 Ab	39 Ba	34 B
100	33 Ab	51 Aa	42 A
Média das fontes	30 b	39 a	34 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

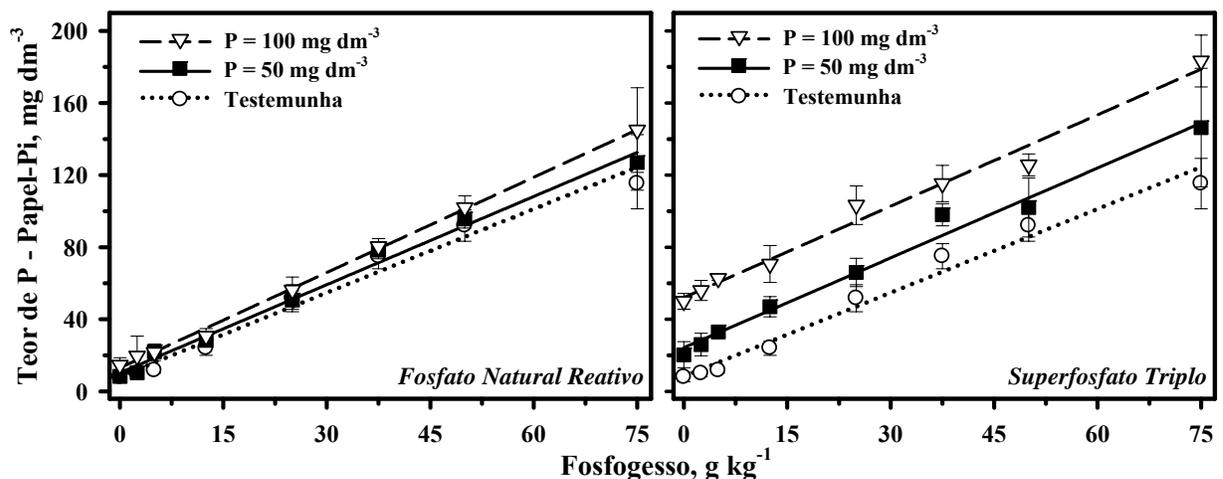


Figura 22 - Teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Neossolo Quartzarênico, após a adição de doses de fosfogesso e de fontes de fósforo

Tabela 35 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de fosfógeno⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	48 Ba	48 Ca	48 C
50	53 ABb	67 Ba	60 B
100	59 Ab	96 Aa	77 A
Média das fontes	53 b	70 a	61 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

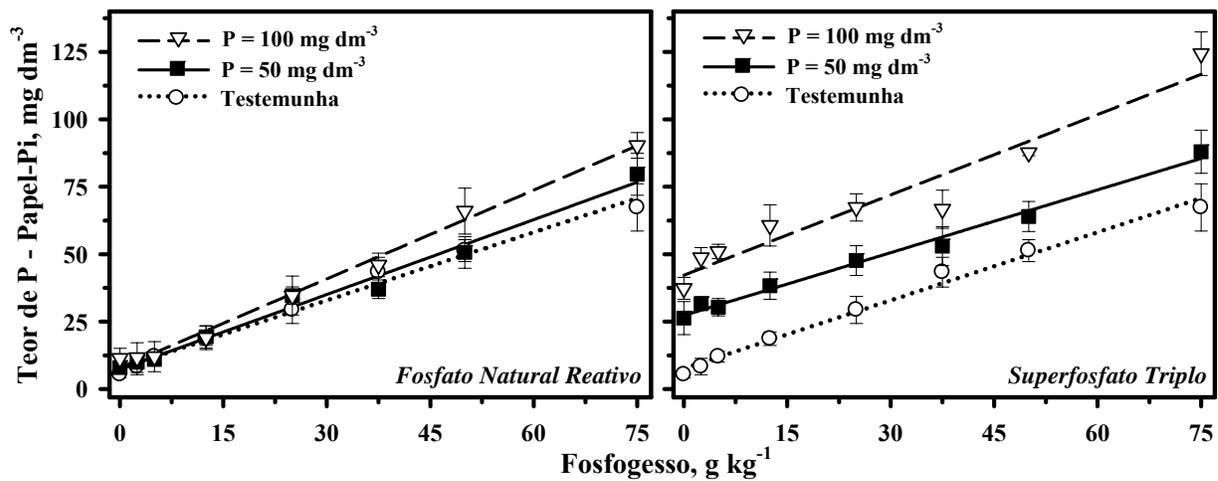


Figura 23 - Teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, após a adição de doses de fosfógeno e de fontes de fósforo

Tabela 36 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de fosfógeno⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
	Teor de P, mg dm ⁻³		
0	29 Ba	29 Ca	29 C
50	31 Bb	47 Ba	39 B
100	36 Ab	68 Aa	52 A
Média das fontes	32 b	48 a	40 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

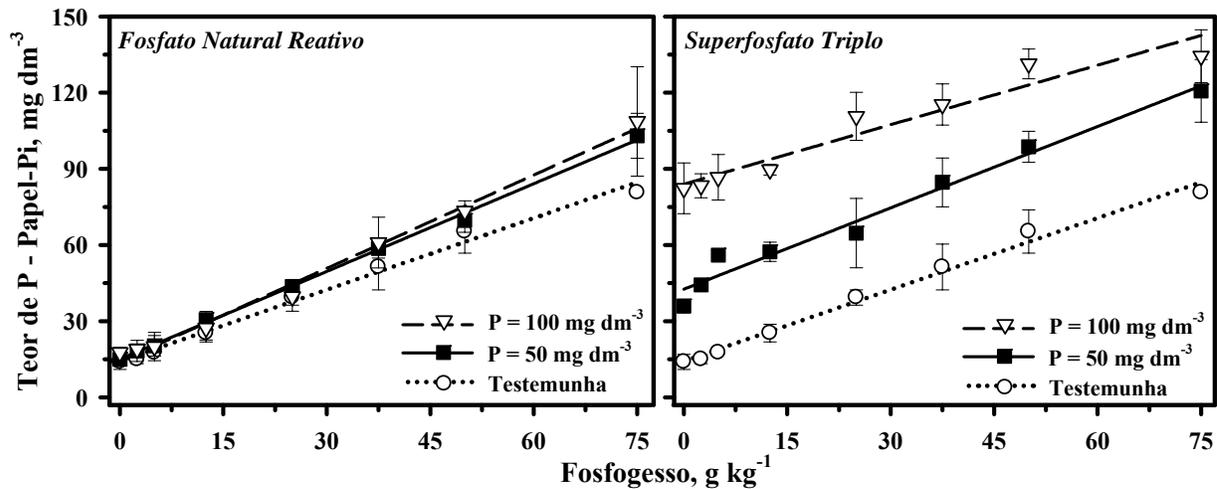


Figura 24 - Teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Neossolo Flúvico, após a adição de doses de fosfógeno e de fontes de fósforo

Tabela 37 - Desdobramento da interação entre fonte e dose de fósforo, sobre o teor de fósforo em amostras de um Neossolo Flúvico, avaliado pelo método do Papel-Pi, considerando a média das doses de fosfógeno⁽¹⁾

Dose de fósforo mg kg ⁻¹	Fonte de fósforo		Média das doses
	Fosfato Natural Reativo	Superfosfato Triplo	
0	39 Ba	39 Ca	39 C
50	45 Ab	70 Ba	57 B
100	46 Ab	104 Aa	75 A
Média das fontes	43 b	71 a	57 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

⁽²⁾ Média geral

Correlação entre os métodos de extração de P

Para todas as situações estudadas, não houve correlação entre os teores de P avaliados por Mehlich ou Papel-Pi com aqueles avaliados pela resina (Figura 25). Embora utilizem de diferentes meios para a avaliação dos teores de P, os métodos da resina e do Papel-Pi possuem o mesmo princípio. Ou seja, não se trata de uma extração propriamente dita e sim da dissolução não seletiva de compostos fosfatados da fase sólida para as cargas da resina ou para os sítios de adsorção presentes nas tiras impregnadas com óxido de ferro.

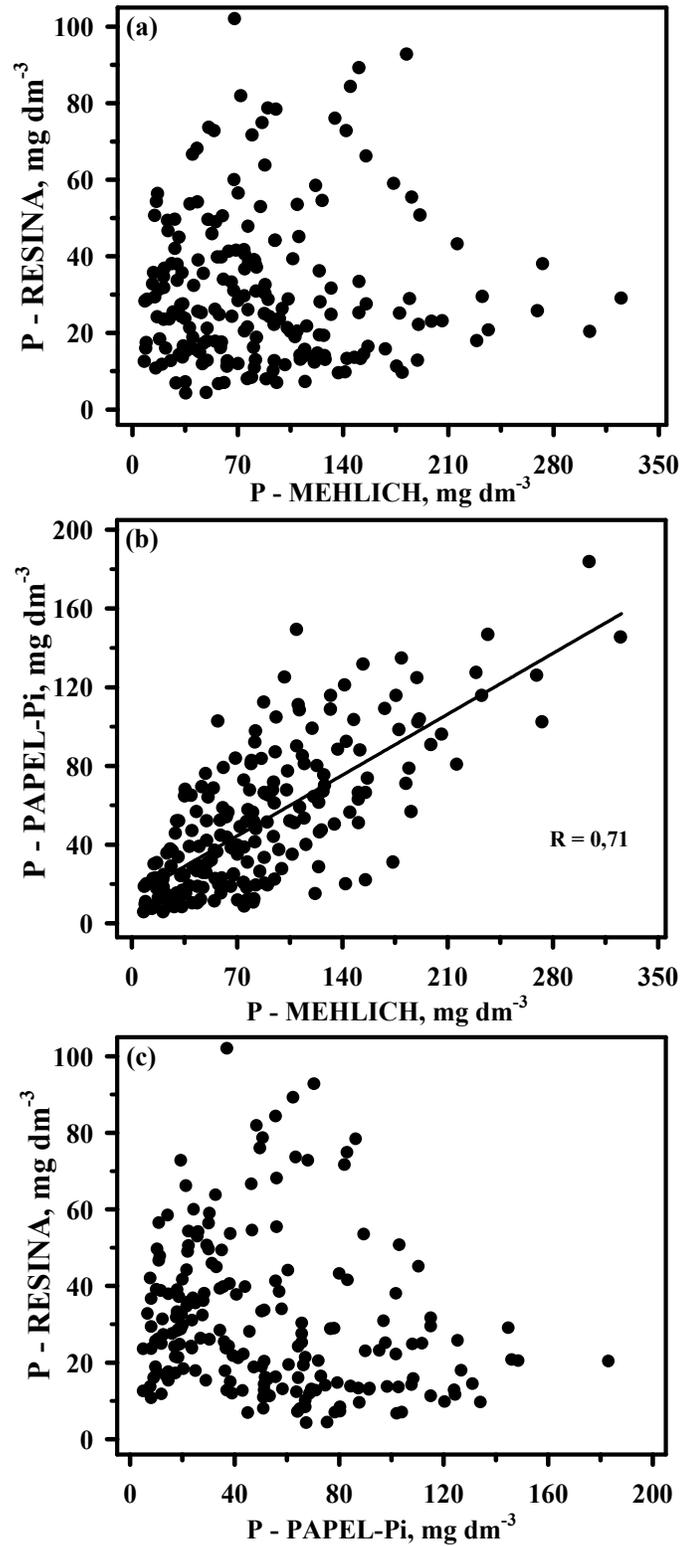


Figura 25 - Correlação entre o teor de P, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogeno e de fontes de fósforo

Al-Merey et al. (2004) também não observaram correlação entre os teores extraídos por estes dois métodos, em um solo com 300 g kg^{-1} de CaSO_4 . Cabe ressaltar que a resina utilizada por estes autores é a resina aniônica, com cargas positivas saturadas com HCO_3^- , portanto não trata-se da mesma utilizada no Brasil.

As melhores correlações foram observadas entre os resultados do Mehlich e do Papel-Pi (Figura 25b). Esta boa correlação se deve principalmente a sensibilidade de ambos os métodos em demonstrar o incremento de P via fosfogesso, pois com relação às fontes, os métodos diferiram quando do emprego de FNR.

Quando se utilizou FNR, os teores de P extraídos por Mehlich foram elevados, possivelmente superestimados devido à solubilização de frações não disponíveis de P. Enquanto que para o Papel-Pi, os teores foram sempre muito próximos daqueles observados para a testemunha (sem adição de P), indicando a baixa extração do P proveniente desta fonte.

A correlação entre os resultados do Papel-Pi e Mehlich foram maiores quando se analisou cada situação de fonte isoladamente. O coeficiente de correlação de todos os resultados, incluindo FNR, SFT e testemunha, foi $R = 0,71$. No entanto quando foram plotados os resultados de cada fonte e da testemunha, observa-se que o coeficiente de correlação foi mais elevado (Figura 26), demonstrando que a principal diferença entre estes dois métodos foi a avaliação dos teores de P nos tratamentos que utilizaram FNR.

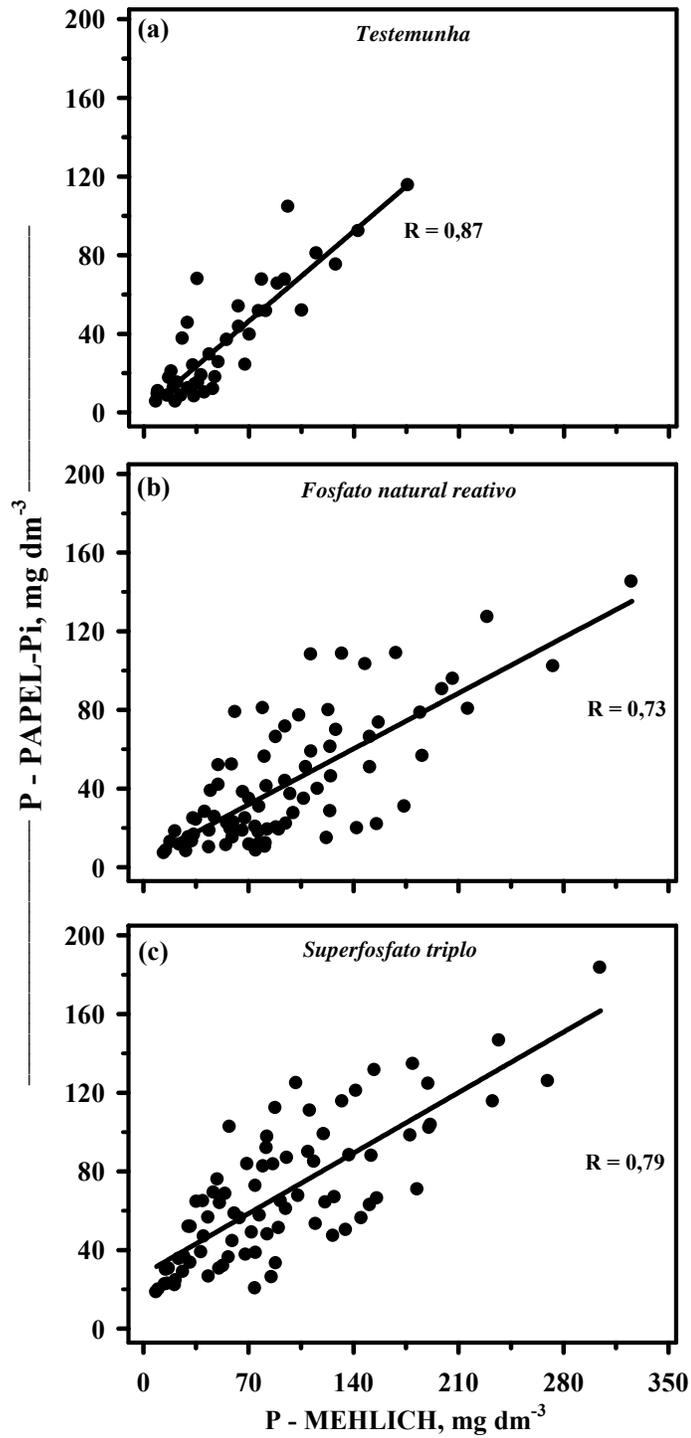


Figura 26 - Correlação entre o teor de P, avaliado pelos métodos Mehlich e Papel-Pi, considerando cada fonte de P

Interferência do gesso na avaliação dos teores de P

Assim como observados nos experimento I e II, o gesso afetou negativamente os teores de P-resina. Os métodos do Papel-Pi e Mehlich apresentaram tendências semelhantes ao avaliar P em função das doses de fosfogesso, sendo que para todas as situações estudadas, o modelo linear foi aquele que mais adequadamente explicou a relação entre as doses de fosfogesso e os teores extraídos.

Novamente os teores de P-resina foram subestimados devido aos mecanismos que levam a diminuição da eficiência deste método e que já foram devidamente expostos em experimentos anteriores. Entretanto, dificilmente haverá uma recomendação de gessagem capaz de provocar os problemas relatados por Al-Merey et al. (2004) e Chien, Austin e Calvo (2009). No entanto, em algumas situações específicas, tal com a observada para o VG, percebe-se claramente que estes problemas na avaliação do P disponível variam de acordo com os atributos do solo. No caso do VG, com o aumento das doses de fosfogesso houve diminuição nos teores de P-resina, ou seja, a resina não demonstrou em nenhuma dose de fosfogesso, o aumento nos teores de P devido a adição de P via fosfogesso, indicando que a interferência causada pelo gesso é superior ao incremento de P via fosfogesso, independente da dose empregada.

De qualquer forma, o presente trabalho apresenta dados referentes a solos com características químicas e físicas bastante distintas, e invariavelmente o gesso causou problemas na determinação do P disponível pela resina.

2.5.4 Experimento IV: Correlação entre a produção de massa seca ou o acúmulo de fósforo pelo milho e o teor de fósforo no solo em função de doses de fosfogesso

Os extratores Mehlich e Papel-Pi foram sensíveis ao aumento nos teores de P em função das doses de fosfogesso nas quatro amostragens (Figura 27 e 29). Com as equações de regressão pode-se estimar o incremento de P provocado pelas doses de fosfogesso, que variaram de 0,6 a 1,1 mg dm⁻³ de P para cada 1 g kg⁻¹ de fosfogesso adicionado (Tabela 38 e 40).

Tabela 38 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo extrator Mehlich, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso

Amostragem ⁽¹⁾	Testemunha - 0 mg kg ⁻¹ de P		Superfosfato Triplo - 50 mg kg ⁻¹ de P	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Amostragem 1	$\hat{y} = 22,91 + 1,05^{**} x$	0,98	—	—
Amostragem 2	$\hat{y} = 21,33 + 1,06^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 44,73 + 1,09^{**} x$	0,99
Amostragem 3	$\hat{y} = 15,80 + 0,91^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 19,05 + 1,05^{**} x$	0,99
Amostragem 4	$\hat{y} = 9,49 + 0,81^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 16,34 + 0,88^{**} x$	0,99

⁽¹⁾ Amostragem 1: após a aplicação das doses de fosfogesso; Amostragem 2: após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); Amostragem 3: após o primeiro cultivo de milho e; Amostragem 4: após o segundo cultivo milho

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Os três extratores, Mehlich, resina e Papel-Pi, demonstraram a diminuição nos teores de P após o primeiro e o segundo cultivo. Este resultado aconteceu, pois as doses de P e de fosfogesso não foram reaplicadas após o primeiro cultivo. Assim, a absorção e consequente extração de nutrientes pelas plantas fizeram com que os teores no solo diminuíssem, visto que em experimentos desenvolvidos em vaso a extração de nutrientes é muito elevada, uma vez que a relação raiz : solo é muito maior nos vasos, onde as raízes ficam confinadas em pequenos volumes de solo, do que em condições de campo.

Este fato é exemplificado quando se analisa os teores de P-Mehlich dos tratamentos que não receberam a adição de fosfogesso. O teor médio era de 23 mg dm⁻³ de P na amostragem 1 e diminuiu para 16 e 9 mg dm⁻³ de P após o primeiro e o segundo cultivo de milho, respectivamente (Figura 27). Esta diminuição reflete a absorção de P pelas plantas.

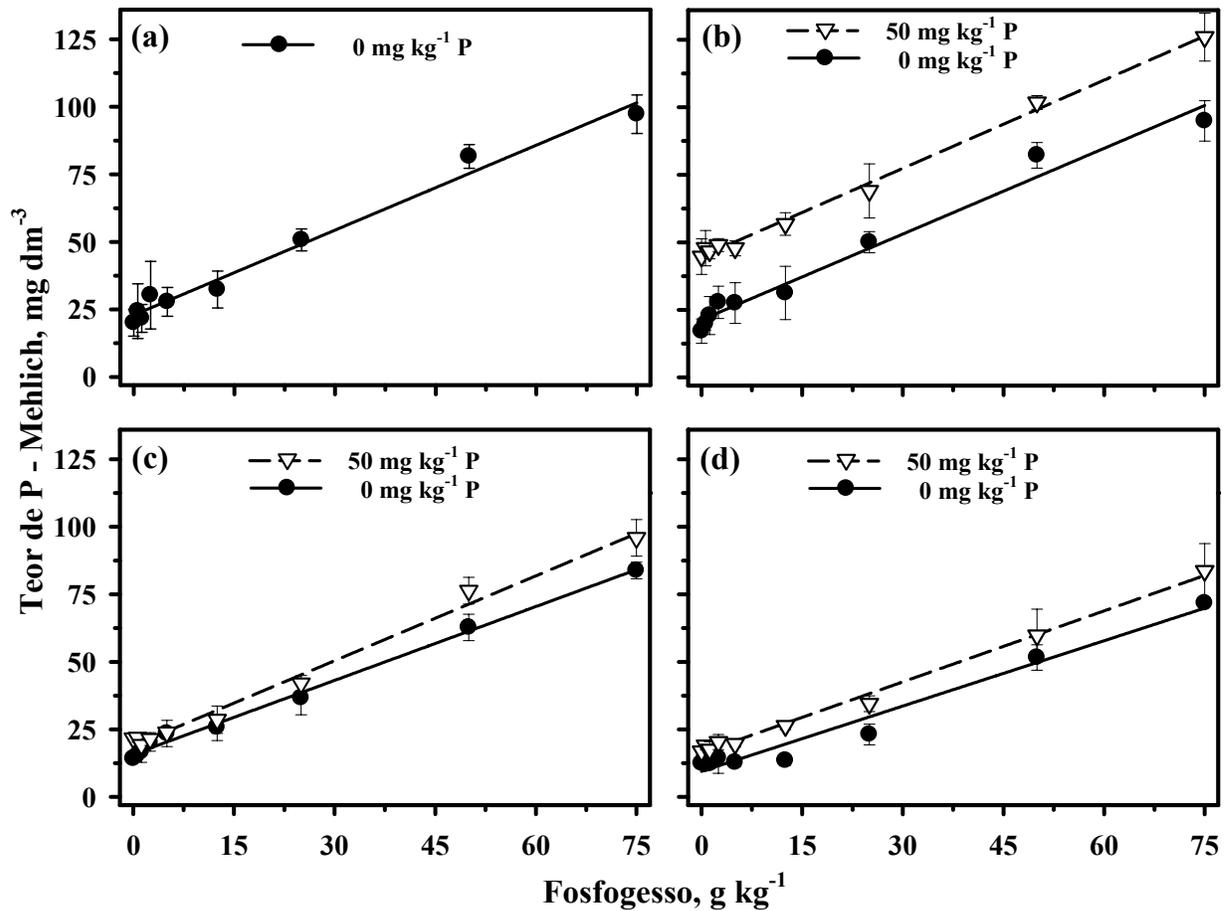


Figura 27 - Teor de fósforo no solo avaliado pelo extrator Mehlich: (a) após a aplicação das doses de fosfogesso; (b) após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); (c) após o primeiro cultivo de milho e; (d) após o segundo cultivo milho

O comportamento da resina foi semelhante àquele observado nos experimento I, II e III. Aumento dos teores em virtude da adição de P via fosfogesso, e posterior diminuição devido à formação de CaCO₃, resultado da reação do CaSO₄ presente no solo com o HCO₃⁻ da resina, que precipita e/ou adsorve o P solúvel.

Este comportamento foi observado tanto para os tratamentos que não receberam a adição de P quanto àqueles que receberam 50 mg dm⁻³ de P (SFT). A resina também foi sensível ao aumento provocado pela adição de P, no entanto, após os cultivos de milho, os teores diminuíram pela extração das plantas. Como exemplo, cita-se o maior teor estimado para o tratamento com SFT, que na amostragem 2 (antes do primeiro cultivo) foi de 58 mg dm⁻³ de P diminuindo para 41 mg dm⁻³ de P após o primeiro cultivo e chegando à 33 mg dm⁻³ de P após o segundo cultivo (Tabela 39; Figura 28).

Tabela 39 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo método da resina de troca iônica, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso

Amostragem ⁽¹⁾	Testemunha (0 mg kg ⁻¹ de P)		Superfosfato Triplo (50 mg kg ⁻¹ de P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Amostragem 1	$\hat{y} = 8,04 + 23,28^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-24,04^{**}}{16,75^{**}} \right)^2 \right]$	0,96	—	—
Amostragem 2	$\hat{y} = 9,31 + 23,89^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-17,73^{**}}{10,25^{**}} \right)^2 \right]$	0,95	$\hat{y} = 12,28 + 45,93^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-18,98^{**}}{24,21^{**}} \right)^2 \right]$	0,98
Amostragem 3	$\hat{y} = 14,29 + 14,42^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-34,43^{**}}{13,33^{**}} \right)^2 \right]$	0,86	$\hat{y} = 19,79 + 20,98^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-20,94^{**}}{14,49^{**}} \right)^2 \right]$	0,97
Amostragem 4	$\hat{y} = 9,31 + 18,38^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-35,13^{**}}{11,18^{**}} \right)^2 \right]$	0,97	$\hat{y} = 14,67 + 18,45^{**} \left[-0,5 \left(\frac{X-29,40^{**}}{13,56^{**}} \right)^2 \right]$	0,90

⁽¹⁾ Amostragem 1: após a aplicação das doses de fosfogesso; Amostragem 2: após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); Amostragem 3: após o primeiro cultivo de milho e; Amostragem 4: após o segundo cultivo milho

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

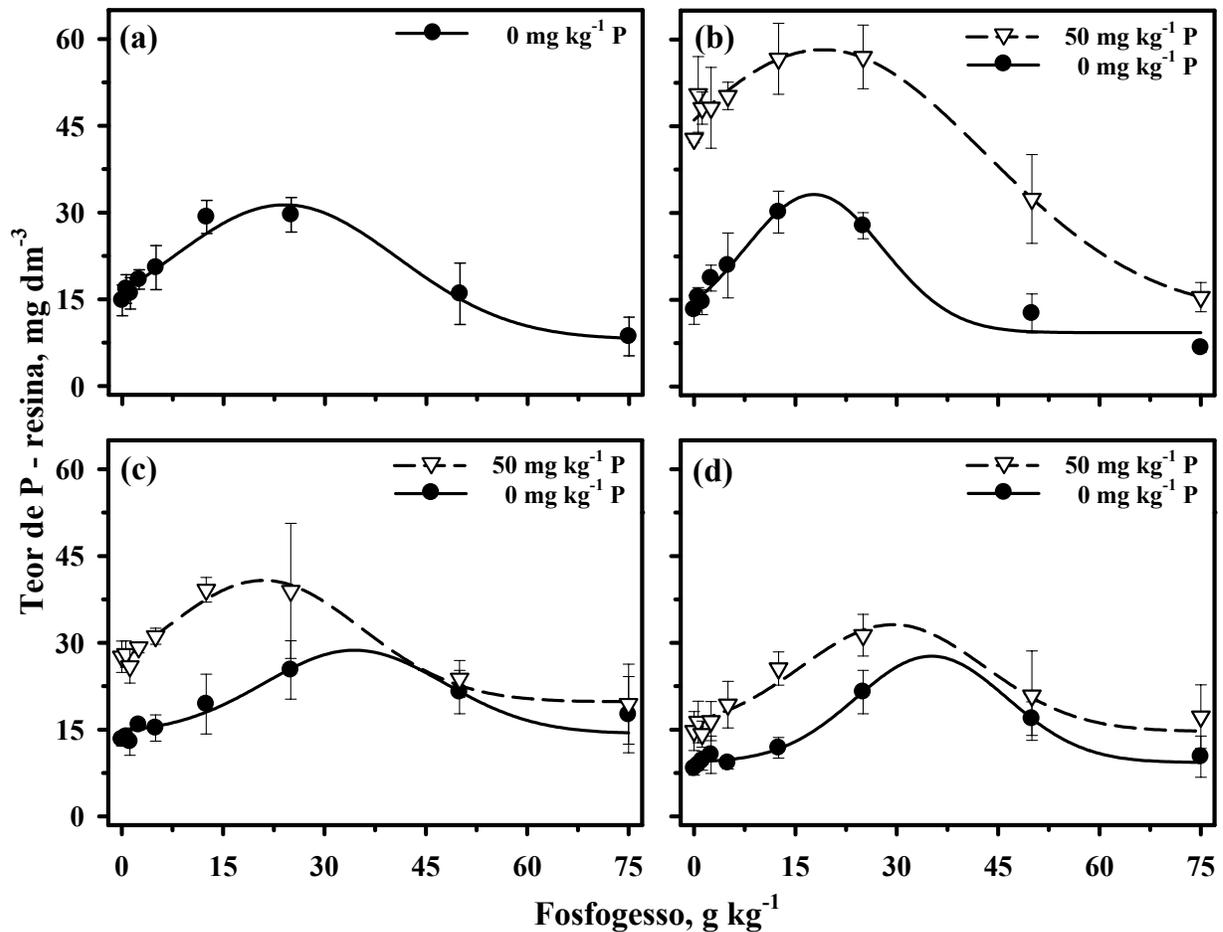


Figura 28 - Teor de fósforo no solo avaliado pelo método da resina de troca iônica: (a) após a aplicação das doses de fosfogesso; (b) após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); (c) após o primeiro cultivo de milho e; (d) após o segundo cultivo milho

Tabela 40 - Equações de regressão para o teor de fósforo, avaliado pelo método do Papel-Pi, em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfogesso

Amostragem ⁽¹⁾	Testemunha (0 mg kg ⁻¹ de P)		Superfosfato Triplo (50 mg kg ⁻¹ de P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Amostragem 1	$\hat{y} = 7,88 + 1,02^{**} x$	0,99	—	—
Amostragem 2	$\hat{y} = 8,76 + 0,93^{**} x$	0,99	$\hat{y} = 24,90 + 0,97^{**} x$	0,98
Amostragem 3	$\hat{y} = 7,08 + 0,75^{**} x$	0,97	$\hat{y} = 7,61 + 0,96^{**} x$	0,98
Amostragem 4	$\hat{y} = 3,55 + 0,58^{**} x$	0,93	$\hat{y} = 6,85 + 0,84^{**} x$	0,96

⁽¹⁾ Amostragem 1: após a aplicação das doses de fosfogesso; Amostragem 2: após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); Amostragem 3: após o primeiro cultivo de milho e; Amostragem 4: após o segundo cultivo milho

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

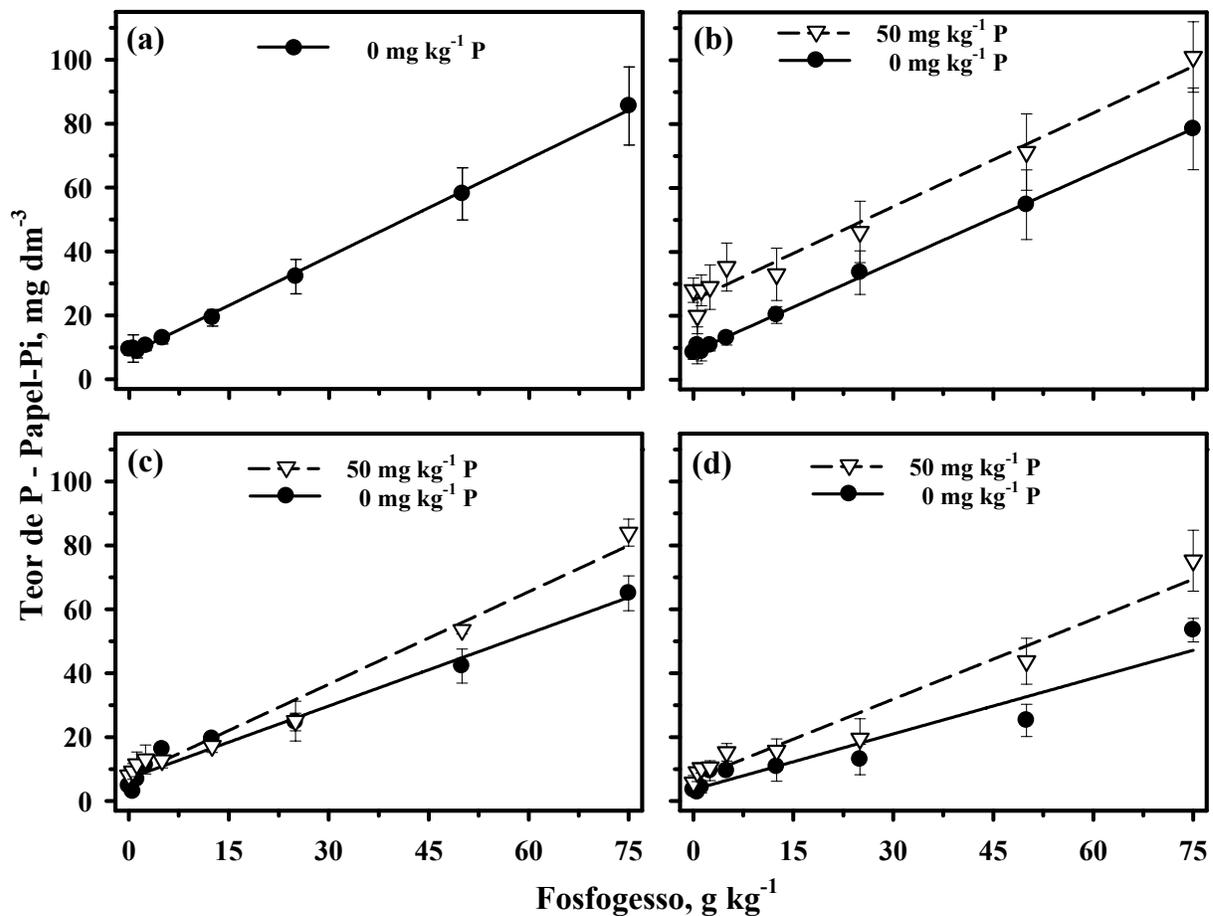


Figura 29 - Teor de fósforo no solo avaliado pelo método do Papel-Pi: (a) após a aplicação das doses de fosfogesso; (b) após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); (c) após o primeiro cultivo de milho e; (d) após o segundo cultivo milho

As doses de fosfogesso não alteraram significativamente o pH do solo significativamente (Tabela 41; Figura 30). Notam-se apenas pequenas diminuições do pH do solo após os dois cultivos de milho, fato que pode ser creditado à absorção de nutrientes, principalmente cátions.

Nestas situações, o sistema radicular pode exsudar ácidos orgânicos para manter a eletroneutralidade da planta, assim acidificando o solo, sobretudo na rizosfera.

Tabela 41 - Equações de regressão para leituras de pH em cloreto de cálcio, nas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em função das doses de fosfógeno

Amostragem ⁽¹⁾	Testemunha (0 mg kg ⁻¹ de P)		Superfosfato Triplo (50 mg kg ⁻¹ de P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Amostragem 1	$\hat{y} = 5,27 + 0,00^{ns}x$	0,04	—	—
Amostragem 2	$\hat{y} = 5,26 + 0,00^{ns}x$	0,13	$\hat{y} = 5,08 + 0,00^{ns}x$	0,06
Amostragem 3	$\hat{y} = 4,70 + 0,00^*x$	0,59	$\hat{y} = 4,56 + 0,00^{**}x$	0,77
Amostragem 4	$\hat{y} = 4,35 + 0,01^{**}x$	0,72	$\hat{y} = 4,31 + 0,01^{**}x$	0,87

⁽¹⁾ Amostragem 1: após a aplicação das doses de fosfógeno; Amostragem 2: após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); Amostragem 3: após o primeiro cultivo de milho e; Amostragem 4: após o segundo cultivo milho
 ***, ns Significativo ao nível de 5% e 1 % de probabilidade e, não significativo, respectivamente.

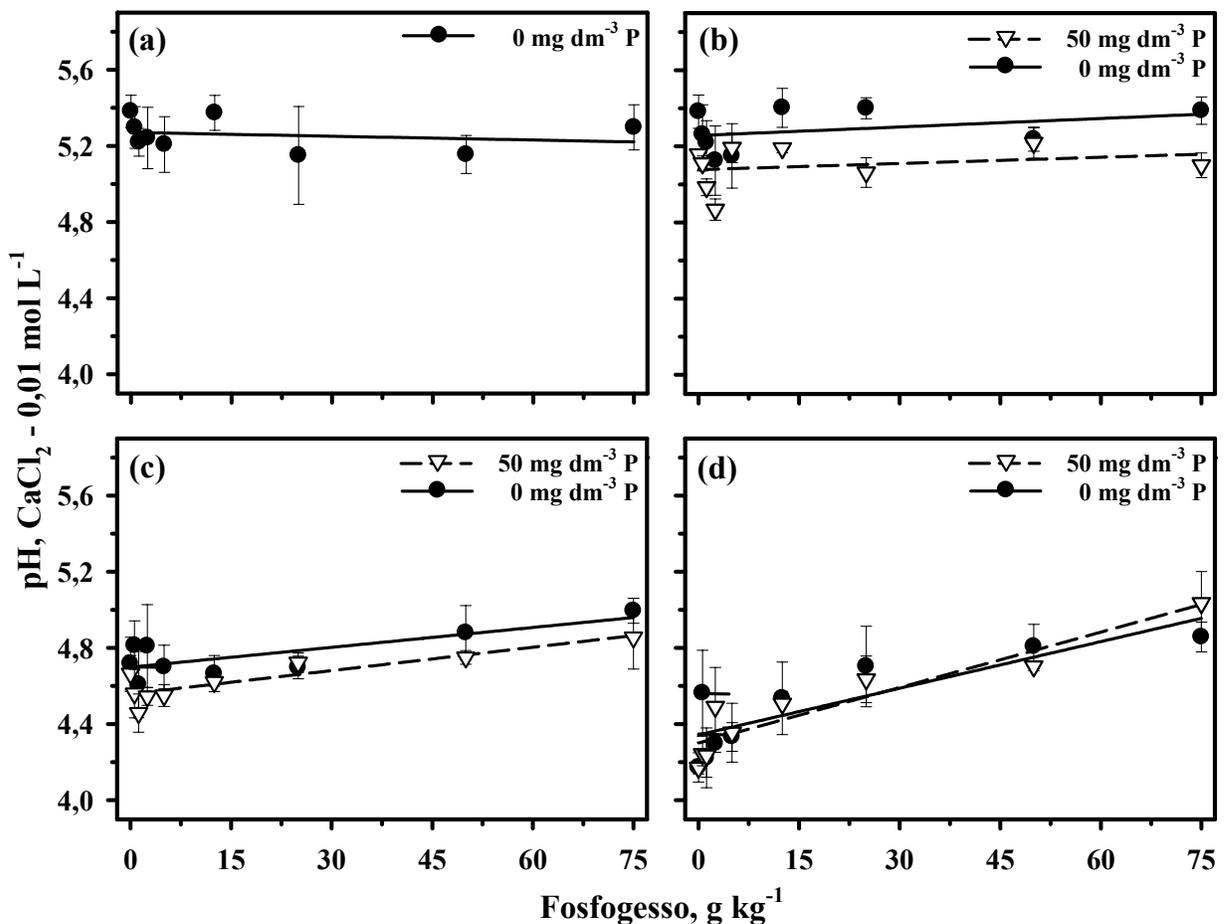


Figura 30 – Leituras de pH em cloreto de cálcio: (a) após a aplicação das doses de fosfógeno; (b) após a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de fósforo (Superfosfato triplo); (c) após o primeiro cultivo de milho e; (d) após o segundo cultivo milho

As doses de fosfogesso não influenciaram a produção de massa seca (MS) do milho nos dois cultivos, exceto no tratamento sem a adição de P, para o primeiro cultivo. Neste tratamento, foi ajustado o modelo quadrático para relacionar as doses de fosfogesso e a resposta da planta em termos de produção de massa de seca de parte aérea (Tabela 42). Este comportamento não pôde ser explicado apenas pelas doses de fosfogesso, pois este fato foi observado apenas uma vez.

Tabela 42 - Equações de regressão para a massa seca de parte aérea (MSPA) do milho e para o P acumulado na MSPA, em função das doses de fosfogesso

Amostragem ⁽¹⁾	Testemunha (0 mg kg ⁻¹ de P)		Superfosfato Triplo (50 mg kg ⁻¹ de P)	
	Equação	R ²	Equação	R ²
————— Massa seca de parte aérea (MSPA), g / vaso —————				
Primeiro cultivo	$\hat{y} = 30,83 + 0,98^*x + 0,01^*x^2$	0,59	$\hat{y} = 66,2 - 0,03^{ns}x$	0,06
Segundo cultivo	$\hat{y} = 39,49 + 0,10^{ns}x$	0,19	$\hat{y} = 53,76 - 0,05^{ns}x$	0,22
————— P acumulado na MSPA, mg / vaso —————				
Primeiro cultivo	$\hat{y} = 30,00 + 0,85^*x - 0,01^*x^2$	0,56	$\hat{y} = 74,99 + 0,09^{ns}x$	0,28
Segundo cultivo	$\hat{y} = 37,89 + 0,64^{**}x$	0,87	$\hat{y} = 60,88 + 0,30^{**}x$	0,78

^{ns, *, **} Não significativo e significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade

A diminuição na produção de MS em resposta às maiores doses de fosfogesso pode ter sido causado, provavelmente, por impurezas potencialmente tóxicas contidas no fosfogesso, tais como metais pesados ou mesmo elementos radioativos (RAIJ, 2008). Normalmente esta não é uma grande preocupação em condições de campo, pois as doses de gesso recomendadas não costumam ultrapassar as 10 Mg ha⁻¹, adicionando assim pequenas quantidades destas impurezas.

Uma das prováveis explicações para o desenvolvimento irregular do milho no primeiro experimento pode ser o desbalanço entre os nutrientes presentes no solo após a aplicação das doses mais elevadas de fosfogesso. Mays e Mortvedt (1986) estudaram a produção de milho, trigo e soja em função das doses de 0, 22 e 112 Mg ha⁻¹ de fosfogesso e observaram que a produção de milho diminuiu na maior dose utilizada. Para tal efeito, os autores justificaram que o desbalanço na relação entre Ca:Mg pode ter prejudicado o desenvolvimento do milho. A adição de 112 Mg ha⁻¹ de fosfogesso elevou a relação Ca/Mg de 20 para 80, o que prejudicou o desenvolvimento da cultura.

Cabe ressaltar que o fosfogesso pode apresentar pequenas concentrações de arsênio, cádmio, chumbo, cobre e zinco, além de elementos radioativos (Rutherford; Dudas; Samek, 1994), e com o emprego de doses elevadas, quantidades proporcionais destes elementos são

adicionadas, podendo prejudicar a ontogenia das plantas, além de contaminar o ambiente. No entanto, Mays e Mortvedt (1986) demonstraram que o desbalanço de cátions causados pela aplicação de elevadas doses de gesso é mais prejudicial ao desenvolvimento das culturas do que a absorção destes metais pesados.

No entanto, não foram realizadas análises que pudessem confirmar esta suspeita, sendo apenas uma hipótese já relatada na literatura para justificar desenvolvimento irregular de plantas após a adição de elevadas doses de gesso. Chien, Austin e Calvo (2009) cultivando trigo em vasos de 4 L, também observaram diminuição na produção de grãos e do P acumulado na maior dose de gesso utilizada por estes autores (300 g kg^{-1}).

Para os dois cultivos, houve resposta à adição de P, resultando em maior produção de MS nos tratamentos que receberam 50 mg dm^{-3} de P (Figura 31).

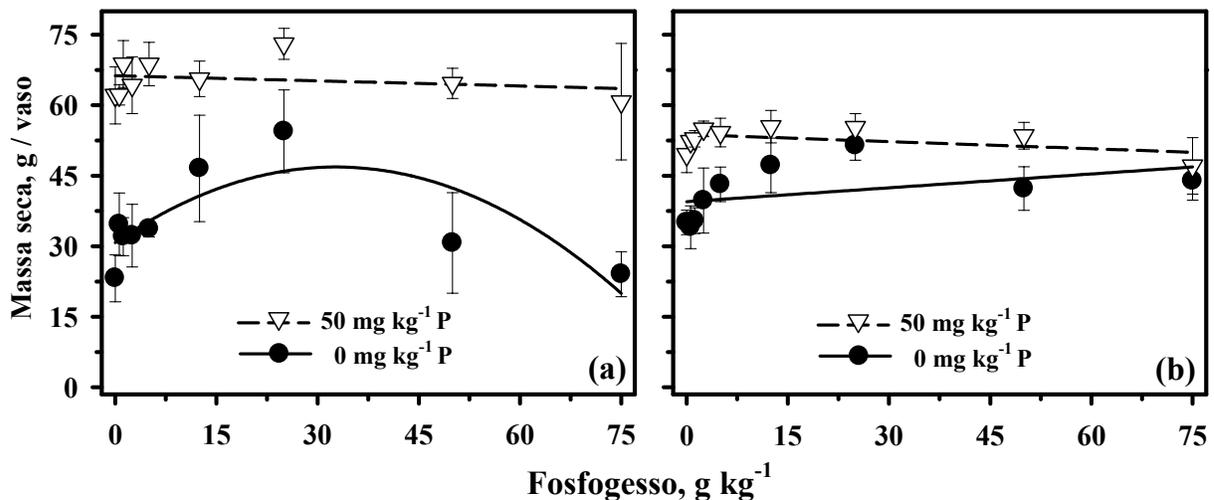


Figura 31 - Produção de massa seca de parte aérea no primeiro (a) e no segundo cultivo de milho (b)

O acúmulo de P na MSPA também não foi afetado pela adição das doses de fosfogesso (Figura 32), exceto para o primeiro cultivo nos tratamentos que não receberam P. O comportamento foi semelhante aquele observado para a produção de MSPA. Para o segundo cultivo, o acúmulo de P aumentou em resposta às doses de fosfogesso, sendo o incremento médio de $0,97 \text{ mg}$ de P por vaso para cada 1 g kg^{-1} de fosfogesso adicionado (Tabela 42).

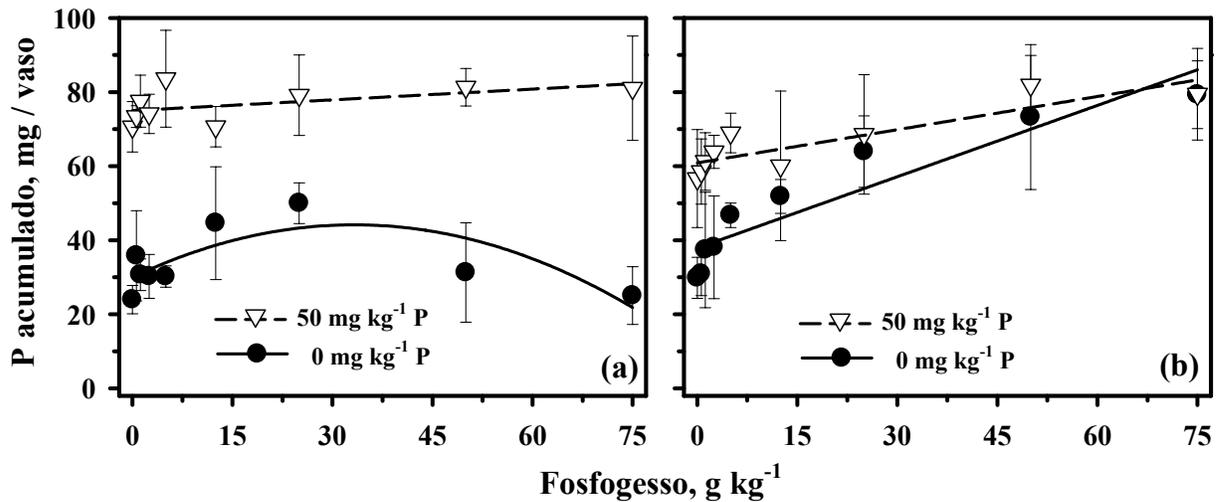


Figura 32 - Acúmulo de fósforo na massa seca de parte aérea no primeiro (a) e no segundo cultivo de milho (b)

Houve boa correlação entre os teores extraídos pelos métodos Mehlich e Papel-Pi (Figura 33). Entretanto, assim como observado no experimento III, não houve correlação entre os teores de P extraídos por meio da resina e aqueles extraídos por Mehlich ou Papel-Pi. Novamente, estes resultados indicam os problemas causados pelo CaSO_4 durante a extração de P pela resina, em virtude dos mecanismos já mencionados.

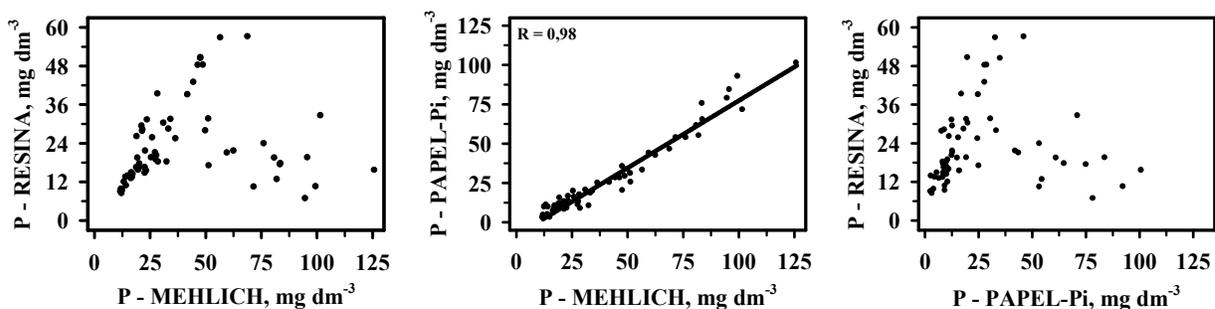


Figura 33 - Correlação entre o teor de P no solo, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, nas quatro amostragens, em função das doses de fosfogeno

Os dados obtidos para a produção de MSPA e o P acumulado pelo milho, demonstraram que estes parâmetros não se correlacionaram bem com os teores de P no solo.

No primeiro cultivo, a melhor correlação foi obtida tanto na produção de MSPA quanto para no P acumulado, com os teores de P extraídos pela resina de troca iônica (Figuras 34 e 35). No entanto este resultado é devido à produção de MSPA do milho que foi ajustada ao quadrático em função das doses de fosfogesso, provavelmente devido à outros fatores que não o suprimento de P. Como a resina subestimou os teores nas maiores doses de fosfogesso, também sendo os dados ajustados ao modelo quadrático, a correlação entre as variáveis foi boa, no entanto tratam-se de dois problemas: os teores de P subestimados pela resina nas maiores doses e a baixa produção de MSPA do milho, também nos tratamentos com as maiores doses de fosfogesso.

Nos dois cultivos de milho, os parâmetros analisados não apresentaram boas correlações com os teores extraídos pelos extratores Mehlich e Papel-Pi (Figuras 34, 35, 36 e 37). Estes métodos demonstraram o aumento nos teores de P no solo via fosfogesso, em contrapartida a resina não foi sensível a este aumento. No entanto, a produção de MSPA e a quantidade de P acumulado na MS não aumentaram em função das doses e fosfogesso, fato que resultou na baixa correlação entre estes parâmetros e os teores de P extraídos.

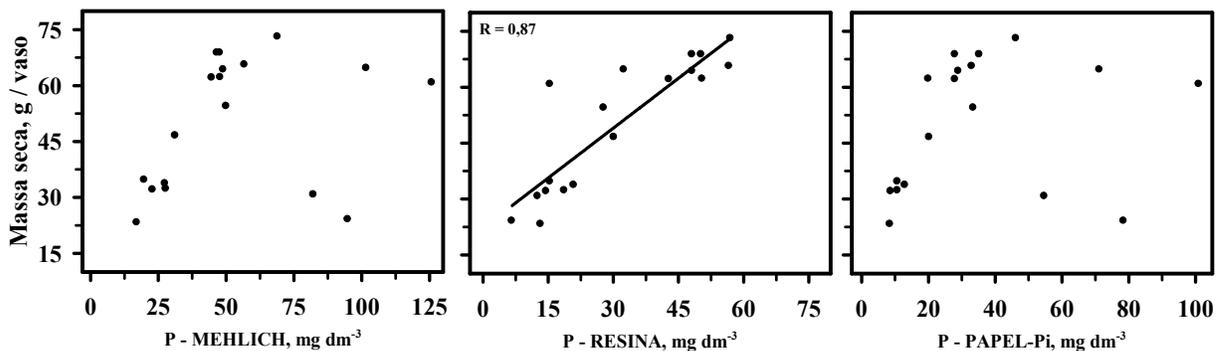


Figura 34 - Correlação entre o teor de P no solo, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, e a produção de massa seca de parte aérea no primeiro cultivo de milho, em função das doses de fosfogesso

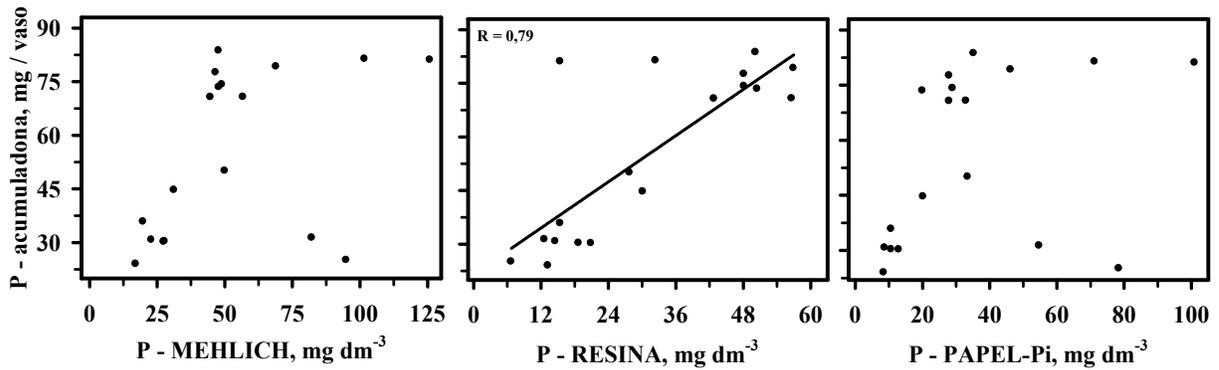


Figura 35 - Correlação entre o teor de P no solo, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, e a quantidade de P acumulado na massa seca de parte aérea no primeiro cultivo de milho, em função das doses de fosfogeno

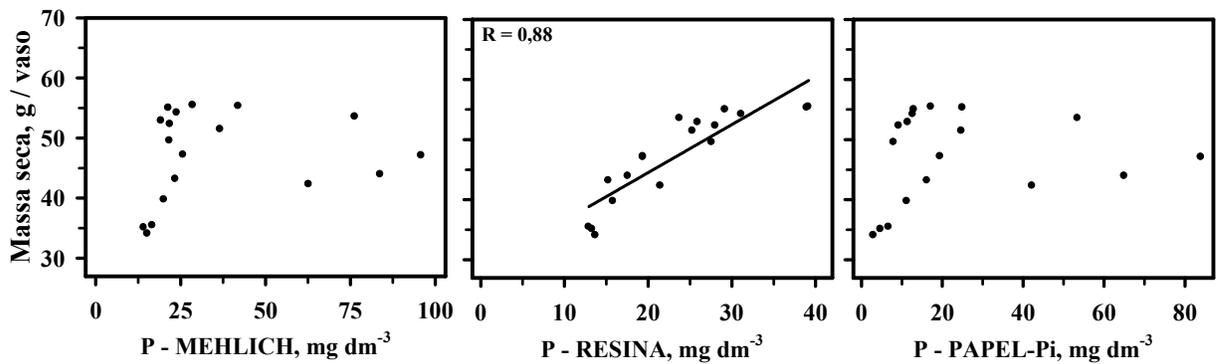


Figura 36 - Correlação entre o teor de P no solo, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, e a produção de massa seca de parte aérea no segundo cultivo de milho, em função das doses de fosfogeno

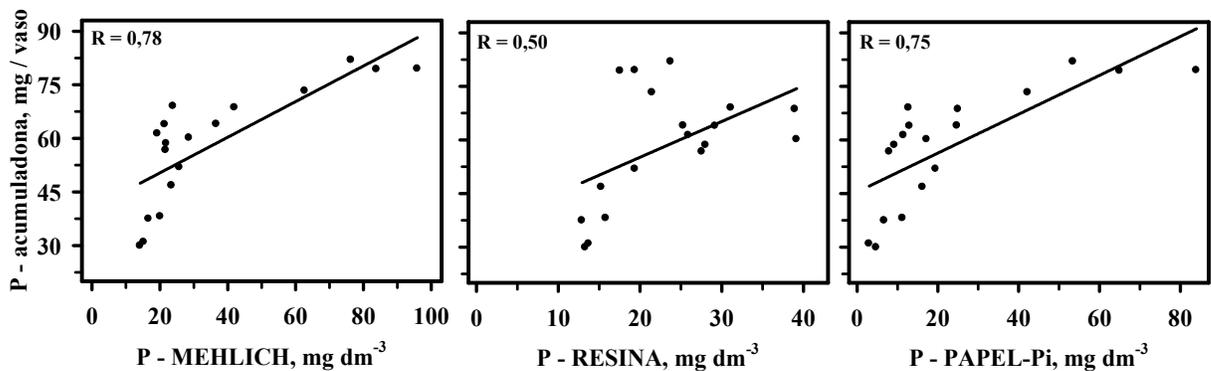


Figura 37 - Correlação entre o teor de P no solo, avaliado pelos métodos da resina de troca iônica, Mehlich e Papel-Pi, e a quantidade de P acumulado na massa seca de parte aérea no segundo cultivo de milho, em função das doses de fosfogeno

3 CONCLUSÕES

O gesso afetou significativamente os teores de P disponível. Por empregar o NaHCO_3 , a resina de troca iônica, teve sua eficiência afetada pelo CaSO_4 , que reagindo com o HCO_3^- , forma o CaCO_3 que precipita e/ou adsorve o P disponível. Independentemente da forma de gesso utilizada, os teores de P-resina foram afetados negativamente pela presença do insumo. O presente trabalho apresenta resultados até então não encontrados na literatura, para solos tropicais ácidos, nos quais o gesso é muito utilizado como condicionador de subsuperfície. No entanto, a implicação prática deste fato não deve causar sérios problemas, visto que os teores de P foram significativamente subestimados apenas em doses de gesso muito elevadas, que muito dificilmente seriam recomendadas para a melhoria do ambiente radicular.

O método do Papel-Pi avaliou de forma satisfatória a disponibilidade de P nas amostras dos solos ácidos utilizados. Este método demonstrou a sua potencialidade para avaliar o P disponível nas condições estudadas, independentemente da presença ou não de gesso. Seu comportamento em demonstrar o incremento de P no solo pela adição de fosfogesso, superfosfato triplo ou fosfato natural reativo, foi coerente.

Os três métodos utilizados no presente trabalho, Mehlich, Papel-Pi e resina, foram influenciados pelas características dos solos, pelas fontes e doses de P e de gesso. Confirmou-se a hipótese que estes métodos atuam de formas diferentes em relação a fontes de P, sendo a maior distorção verificada para o extrator Mehlich quando da aplicação de fosfatos naturais ao solo, resultando em teores superestimados. De forma geral, houve boa correlação entre Mehlich e Papel-Pi, diferente do observado com o método da resina, em virtude da interferência causada pela presença do gesso.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, M.; FARDEAU, J.C.; ZAPATA, F. Does the Pi strip method allow assessment of the available soil P?: Comparison against the reference isotope method. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 49-58, 2002.
- Al-ABBAS, A.H.; BARBER, S.A. A soil test for phosphorus based fractionation of soil phosphorus. II: Development of the soil test. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, n. 2, p.221-224, 1964.
- ALCORDO, I.S.; RECHCIGL, J.E. Phosphogypsum in agriculture - A review. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 49, p. 55-118, 1993.
- Al-MEREY, R.; Al-HAMEISH, M.; CHIEN, S.H.; ASFARY, A.F. Pi-paper as an evaluation method of available phosphorus in gypsum-calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 9/10, p. 1357-1367, 2004.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solo. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 615-646.
- ALVAREZ V.; V.H. **Avaliação da fertilidade do solo: superfícies de resposta** – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. (Reimpressão)
- ALVAREZ V.; V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A.C.; SOUZA, R.B. de. Uso do gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.; V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.67-78.
- ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n. 25, p. 27-32, 2000.
- ALVES, M.E. **Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas**. 2002. 145 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALVES, M.E; LAVORENTI, A. Sulfate desorption from representative soils of the Sao Paulo State, Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 44, n. 3, p.291–297, 2006.

AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion-exchange resin adsorption and ^{32}P equilibration. **Plant and Soil**, The Hague, v.4, p.391-408, 1955.

ANDERSON, M.S. History and development of soil testing. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Davis, v. 8, p. 84-87, 1960.

ANDERSON, M.A.; ZELAZNY, L.W.; BERTSCH, P.M. Fluoro-aluminum complexes on model and soil exchangers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 1, p. 71-75, 1991.

ARAI, Y.; SPARKS, D.L. Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: A multiscale approach. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 94, p. 135-179, 2007.

BARNARD, R.O.; VUUREN, A.J.A van; CLAASSENS, A.S. Quality assurance in agricultural laboratories in Southern Africa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 1/3, p. 1-8, 2005.

BARRETO, A.C.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para a avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 114, p. 142-147, 1974.

BARROS, M.F.C.; MAGALHÃES, A.F. Avaliação de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n.1, p. 119-123, 1989.

BARROS, M.F.C.; SANTOS, P.M.; MELO, R.M. FERRAZ, F.B. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n.único, p. 17-21, 2006.

BARROW, N.J. Comparison of the adsorption of sulfate by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 107, n. 5, p. 342-349, 1967.

_____. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 109, n. 5, p. 282-288, 1970.

_____. The slow reactions between soil and anions: I. Effects of time, temperature and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. **Soil Science**, Baltimore, v. 118, n. 6, p. 380-386, 1974.

_____. A mechanism model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 4, p.733-750, 1983.

BATIONO, A.; BAETHGEN, W.E.; CHRISTIANSON, C.B.; MOKWUNYE, A.U. Comparison of 5 soil testing methods to establish phosphorus sufficiency levels in soil fertilized with water-soluble and sparingly soluble-P sources. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 28, n. 3, p. 271-279, 1991.

BEEGLE, D. Assessing soil phosphorus for crop production. In: SIMS, T.J.; SHARPLEY, A.N. (Ed.). **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2005. p. 123-144. (Agronomy Monography, 46).

BERINGER, H. Adequacy of soil testing for predicting fertilizer requirements. **Plant and Soil**, The Hague, v. 83, p. 21-37, 1985.

BINGHAM, F.T. Chemical soil tests for available phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v. 94, p.87-95, 1962.

BLACK, A.S.; CAMERON, K.C. Effect of leaching on soil properties and growth following lime and gypsum amendments to a soil with an acid subsoil. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 27, n. 2, p. 195-200, 1984.

BOLAN, N.S.; REDLEY, M.J. Dissolution of phosphate rocks in soils: II. Effects of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 24, n. 3, p. 125-134, 1990.

BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; SUMNER, M.E. Dissolution of various sources of gypsum in aqueous-solutions and in soil. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 57, n. 4, p. 527-541, 1992.

BOWMAN, R.A.; OLSEN, S.R. A reevaluation of phosphorus-32 and resin methods in a calcareous soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 1, p. 121-124, 1979.

BRASIL Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes, corretivos, inoculantes, substratos e contaminantes**. Brasília, 2007. 140 p.

BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Science**, Baltimore, v.59, n. 1, p.39-45, 1945.

BUSCARLET, L.A. Les résines échangeuses d'ions en Agrologie. **Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques**, Paris, v. 85, p. 45–47, 1964

CABALA-ROSAND, P.; RAIJ, B. van. **A análise de solo no Brasil no período de 1972-1981**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1983, 53p.

CABALA-ROSAND, P.C.; SANTANA, M.B.M. Disponibilidade de fósforo e diagnose pela análise química do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, n.2, p.109-118, 1983.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 22, n.1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p.275-283, 2003.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.3, p.213-223, 2001.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.1, p.315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.125-133, 2004.

CAMARGO, O.A. O papel do íon fluoreto na adsorção, dessorção e movimento de fósforo em um alfisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p.141-144, 1979.

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p.275-280, 1989.

CANTARELLA, H. A qualidade da análise de solo. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.321-336.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Soil and plant analysis for lime and fertilizer recommendations in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 11-14, p. 1691-1706, 1998.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Situação da análise de solo no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, CPATSA; SBCS, 1995. p. 34-50.

CANTARUTTI, R.B. ; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F. DE; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoil for root growth. **Plant and Soil**, The Hague, v.192, n. 1, p.37-48, 1997.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; GARGANTINI, H. **Amostragem do solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1955. 22p. (Boletim 69).

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, p.133-144, 1957.

CHAO, T.T.; HARWOOD, M.E.; FANG, S.C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. **Soil Science**, Baltimore, v. 94, p. 276-286, 1962.

CHARDON, W.J. Phosphorus extraction with iron oxide-impregnated filter paper (Pi-test). In: PIERZYNSKI, G.M. (Ed.). **Methods of phosphorus Analysis for soils, sediments, residuals and waters**. Southern cooperative series bull n. 396: USDA-CSREES Regional Committee, USA, 2000.p. 27-30.

CHHABRA, R.; ABROL, I.P.; SINGH, M.V. Dynamics of phosphorus during reclamation of sodic soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 132, n. 5, p. 319-324, 1981.

CHIEN, S.H.; AUSTIN, E.R.; CALVO, C.G. Under-estimation of available phosphorus by Resin-HCO₃ and Olsen tests in calcareous soil treated with gypsum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, 2009. [in press]

COOKE, I.J.; HISLOP, J. Use of anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. **Soil Science**, Baltimore, v.96, n.3, p.308-312, 1963.

COPE Jr.; J.T.; ROUSE, R.D. Interpretation of soil test results. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.35-54.

CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich-1 e Resina em Latossolo Vermelho Amarelo álico cultivado com três gramíneas forrageiras. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 287-294, 1993.

CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 1261-1266, 1990.

DALAL, R.C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 29, p.83-117, 1977.

DANKE, W.C.; OLSON, R.A. Soil rest correlation, calibration, and recommendation. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.). **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA. ASA Spec. Publ., 1990. p. 47-51.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to the rock-forming minerals**. New York: John Wiley, 1966. 528p.

DEMATTE, J.L.I. **Cultura da cana-de-açúcar**: Recuperação e manutenção da fertilidade do solo. Piracicaba: Potafós, 2005 (Encarte de Informações Agronômicas, 11).

DOLL, E.C.; MILLER, H.F.; FREEMAN, J.F. Initial and residual effects of rock phosphate and superphosphate. **Agronomy Journal**, Madison, v.52, p.246-250, 1960.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

_____. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.

FAO. **Management of gypsiferous soils..** Rome, 1990. 12 p. (FAO Soil Bulletin, 62).

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 1, p. 175-180, 1988.

FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.R. Fertilizantes: escalada das cotações e novo recorde nas vendas. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 3, n. 7, 2008.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0 In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FISCHER, J.B.; MILLER, J.H. Ion chromatography as an alternative to standard methods for analysis of macro-nutrients in Mehlich 1 extracts of unfertilized forest soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n.15/16, p.2191-2208, 2004.

FIXEN, P.E.; GROVE, J.H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA. ASA Spec. Publ.,1990, p. 141-180.

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols, relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, n. 1/2, p. 37-51, 1996.

FRANCISCO, E.A.B. **Fosfatos aluminosos do grupo da crandallita como fonte alternativa de fósforo para a cultura do arroz**. 2006. 145p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição da Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Querioz”, Piracicaba, 2006.

FREIRE, F.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.; V.H.; MELLES, C.C.A. Calagem, Gessagem e adubação do cafeeiro. Belo Horizonte: EPAMIG, 1984. 20p.

GALVEZ, N.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Effect of phosphate on the crystallization of hematite, goethite, and lepidocrocite from ferrihydrite. **Clays and Clay Minerals**, v. 47, n. 3, p. 304-311, 1999.

GLORIA, N.A.; BARRETO, M.C.V; MORAES, C.J.; MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Disponibilidade do gesso e de alguns fosfatos como inibidores da volatilização de amônia de estercos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 297-301, 1991.

GOLDBERG, S.; SPOSITO, G. A chemical model of phosphate adsorption by soils. I. reference oxide minerals. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 4, p. 772-778, 1984a.

GOLDBERG, S.; SPOSITO, G. A chemical model of phosphate adsorption by soils. II. Noncalcareous soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 4, p. 779-783, 1984b.

GOROVE, E.M.; CHIEN, S.H.; FOX, R.H. Iron oxide-impregnated paper vs. Bray-1 soil-test methods predicting crop response from phosphate-rock sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 13-14, p.1981-1993, 2004.

GRAETZ, D.A.; NAIR, V.D. Phosphorus sorption isotherm determination. In: PIERZYNSKI, G.M. (Ed.) *Methods of Phosphorus Analysis for soils, sediments, residuals and waters*. USDA-CSREES Regional Committee, , 2000. p. 35-38. (Southern cooperative series bull.,396)

GUO, F.; YOST, R.; JONES, R.C. Evaluating iron-impregnated paper strips for assessing available soil phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n. 11/12, p.2561-2590, 1996.

HABIB, L.; CHIEN, S. H.; MENON, R.G.; CARMONA, G. Modified iron oxide-impregnated paper strip test for soils treated with phosphate fertilizers. **Soil Science Society of America Journal, Madison, Madison**, v. 62, n. 4, p.972-976, 1998

HANWAY, J.J. Experimental methods for correlating and calibrating soil tests. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.55-66.

HARMAND, J.M.; AVILA, H.; DAMBRINE, E.; SKIBA, U.; DE MIGUEL, S.; RENDEROS, R.V.; OLIVER, R.; JIMENEZ, F.; BEER, J. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a Coffea arabica-Eucalyptus deglupta agroforestry system in Southern Costa Rica. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n.2, p.125-139, 2007

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D; TISDALE, S.L., NELSON, W.L. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

HERLIHY, M.; McCARTHY, J., Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, n. 1/3, p. 79-90, 2006.

HINGSTON, F.J.; ATKINSON, R.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Specific adsorption of anions. **Nature**, New York, v. 215, p. 1459-1461, 1967

HOUBA, V.J.G.; NOVOZAMSKY, I.; LEE, J.J. van der. Quality aspects in laboratories for soil and plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n.3/4, p.327-348, 1996.

IOANNOU, A.; DIMIRKOU, A. Phosphate adsorption on hematite, kaolinite, and kaolinite-hematite (k-h) systems as described by a constant capacitance model. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 192, p. 119-128, 1997.

JOHNSON, G.V.; WESTERMAN, R.L. Improving soil testing credibility. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 11, n. 3, p. 251-255, 1980.

JORDÃO, C.B. **Especiação e grau de saturação de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto**. 2006. 83p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição da Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Querioz”, Piracicaba, 2006.

KEREN, T.; SHAINBERG, I. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 1, p.103-107, 1981.

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

KHOSLA, B.K.; ABROL, I.P. Effect of gypsum fineness on the composition of a saline sodic soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 113, p. 204-206, 1972.

KLEINMAN, P.J.A.; SHARPLEY, A.N.; GARTLEY, K.; JARRELL, W.M.; KUO, S.; MENON, R.G.; MYERS, R.; REDDY, K.R.; SKOGLEY, E.O. Interlaboratory comparison of soil phosphorus extracted by various soil test methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n.15-16, p. 2325-2345, 2001

KLESTA, E.J.; BARTZ, J.K. Quality assurance and quality control. In: BARTELS, J.M.; BIGHAM, J.M. (Ed.) **Methods of Soil Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1996, Part. II, 1390p.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D.L. (Ed.) **Methods of Soil Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. **Pt 3: Chemical Methods**. p.869-919.

LARSEN, S. The use of ^{32}P in studies on the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**. The Hague, v. 4, p. 1-10, 1952.

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

LIN, T.H.; HO, S.B.; HOUNG, K.H. The use of iron oxide-impregnated filter paper for the extraction of available phosphorus from Taiwan soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 133, n. 2, p.219-226, 1991.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York : Wiley-Interscience, 1979. 449 p.

LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 62 p.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 742-747, 1977.

LOPEZ, R.M.R.; SEGOVIANO, F.; ARVIZU, R.; LARA, V.; MITANI, Y.; ETCHEVERS. J. D. B. Proficiency tests conducted by soil and plant analysis laboratories in Mexico. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, n.15-20, p. 2495-2503, 2006.

LUSCOMBE, P.C.; SYERS, J.K.; GREGG, P.E.H. Water extraction as a soil-testing procedure for phosphate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 10, n.11, p.1361-1369,1979.

LYRA SOBRINHO, A.C.P.; AMARAL, A.J.R.; DANTAS, J.O.C.; DANTAS, J.R.A. Gipsita. In _____: **BALANÇO MINERAL BRASILEIRO**, 2001. Brasília: DNPM, 2002. p. 7-23.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba, POTAFÓS, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H. **Gesso agrícola**: seu uso na adubação e correção do solo. São Paulo: Ultrafertil, 1979. 32p.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992. Uberaba, **Anais...** Uberaba, 1992. p. 41-46.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas - Princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MASSON, P.; MOREL, C.; MARTIN, E.; OBERSON, A.; FRIESEN, D. Comparison of soluble P in soil water extracts determined by ion chromatography, colorimetric, and inductively coupled plasma techniques in PPB range. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n.13/14, p. 2241-2253, 2001.

MAYS, D.A.; MORDVELT, J.J. Crop response to soil applications of phosphogypsum. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 15, p.78-81, 1986.

MAZZILLI, B.; PALMIRO, V.; SAUEIA, C.; NISTI, M.B. Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum. **Journal of Environmental Radioactivity**, Barking, v. 49, n. 1, p. 113-122, 2000.

McAULLIFE, C.D.; HALL, N.S.; DEAN, L.A.; HENDRICKS, S.B. Exchange reactions between phosphates and soils: Hydroxylic surfaces of soil minerals. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 12, p. 119-123, 1948.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories**. Raleigh, University of North Carolina, 1953. (não publicado)

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, n.6, p. 477-492, 1978

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984.

MELSTED, S.W.; PECK, T.R. The Principles of Soil Testing. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.13-23.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. **The Pi soil phosphorus test: a new approach to testing for soil phosphorus**. Muscle Shoals: International Fertilizer Development Center. 10p., 1989a. 10p.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. Comparison of Bray I and Pi tests for evaluating plant-available phosphorus from soils treated with different partially acidulated phosphate rocks. **Plant and Soil**, The Hague, v. 114, n. 2, p. 211-216, 1989b.

MENON, R.G.; HAMMOND, L.L.; SISSING, H.H. Determination of plant-available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (Pi) soil test. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.1, p.110-115, 1989.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; GADALLA, A.E. Comparison of Olsen and Pi soil tests for evaluating phosphorus bioavailability in a calcareous soil treated with single superphosphate and partially acidulated phosphate rock. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 29, n. 2, p. 153-158, 1991.

MIOLA, G.L.; TEDESCO, M.J.; FLÁVIO, C.G.; CAMARGO, A.O. Teor de água do solo na extração de fósforo por papel de filtro impregnado com óxido de ferro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.4, p.721-723, 2000

MISRA, S.M.; TIWARI, K.N.; PRASAD, S.V.S. Reclamation of alkali soils: influence of amendments and leaching on transformation and availability of phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.38, n. 12/14, p. 1007–1028, 2007

MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.187-194,1992.

MOSER, U.S.; SUTHERLAND, W.H.; BLACK, C.A. Evaluation of laboratory indexes of adsorption of soil phosphorus by plants. **Plant and Soil**. The Hague, v.10, n. 4, p.356-374, 1959.

MUNTER, R.C. Advances in soil testing and plant analysis analytical technology. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n.13/16, p. 1813-1841, 1990.

MURIUKI, S.K.; BARBER, R.G. A study on the merits of separating tropical soils into groups and using different chemical extractants for different groups in the routine measurement of available soil phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 14, n.6, p.521-539, 1983.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 27, p. 31-36, 1962.

NELSON, W.L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H.; NORMAN, A.G. (Ed.). **Soil Fertilizer Phosphorus**. New York: Academic, 1953. p.153-188. (Agronomy, 14).

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

OLIVEIRA, M.S.; CORREA, J.B.; CAMPOS, P.M. Programa interlaboratorial de controle de qualidade de análise do solo do Estado de Minas Gerais (PROFERT – MG). Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 20, p. 18-23, 1995.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLMOS, I.R.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.171-180, 1976.

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 21, p. 144-149, 1957.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATENABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington: USDA, 1954. 22p. (USDA. Circular, 939).

PAOLINELLI, M.T.; OLIVEIRA, P.M., SANTOS, P.R.R.S.; LEANDRO, V.P.; MORAES, W.W. Aplicação direta do fosfogesso. In: SEMINÁRIOS DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, I, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa-DDT, 1986. p. 197-207.

PARFITT, R.L.; SMART, R.S.C. The mechanism of sulphate adsorption on iron oxides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, n. 1, p.48-50, 1978.

PAVAN, M.A. O gesso agrícola e a fertilidade dos solos ácidos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1988. Londrina. **Anais...**Londrina: AEAPR; IAPAR; EMBRAPA; ANDA; POTAFÓS, 1988. 17p.

PAVAN, M.A.; BINGHAN, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n. 1, p.33-38, 1984.

PECK, T.R. Soil testing - Past, Present and Future. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v.21, n. 13-16, p. 1165-1186, 1990.

PECK, T.R.; SOLTANPOUR, P.N. The principles of soil testing. In: WESTERMAN, R.L. (Ed). **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA. ASA Spec. Publ.,1990, p.61-73.

PEREIRA, J.R. Solos afetados por sais. In: CAVALCANTI, F.J.A. (Coord.) **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2 ed. rev. Recife: IPA, 1998, p. 76-82.

PÉREZ, D.V.; MENEGUELLI, N.A. **Programa de análise de qualidade dos laboratórios de fertilidade (PAQLF) que usam o método da Embrapa-CNPS - Biênio 1994/95**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997 16p. (Pesquisa em Andamento 3).

PIERZYNSKI, G.M.; LOGAN, T.J.; TRAINA, S.J. Phosphorus chemistry and mineralogy in excessively fertilized soils - solubility equilibria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n. 6, p.1589-1595, 1990.

PIERZYNSKI, G.M. (Ed.) **Methods of Phosphorus Analysis for soils, sediments, residuals and waters.**, USDA-CSREES Regional Committee, 2000. 102p. (Southern cooperative series bull. ,396)

PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; PISMEL, F.S.; CORRENTE, J.E. Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, n. 2, p.346-349, 1995.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafós; ANDA, 2003. 726 p.

QADIR, M.; NODLE, A.D.; OSTER, J.D.; SCHUBERT, S., GHAFOR, A. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review. **Soil Use and Management**, Cambridge, v. 21, n.2, p. 173-180, 2005.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, n.13-16, p.1267-1276, 1990.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. ; RAIJ, B. van . Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção do amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n. 3, p. 189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. ; RAIJ, B. van . Evolution of the analytical quality of soil testing laboratories integrated in a sample exchange program. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 7-8, p. 1007-1014, 1994.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-9, 1978.

_____. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1988. 88p.

_____. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p

_____. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba, Potafós, 2004. p.563-582.

_____. Uso do gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 2007. Piracicaba: **Anais...** Piracicaba: IPNI. 1 CD-ROM.

_____. **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (IAC. Boletim técnico, 81).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. cap. 11, p. 189-199.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 13, p. 1267-1276, 1990.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, n. 5, p. 547-566, 1986.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, A.P.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI Jr.; R. DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; PROCHNOW, L. I.; VITTI, G. C.; PEREIRA, H. S. Soil testing and plant analysis in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 7, p. 739-751, 1994.

RAJAN, S.S.S.; FOX, R.L.; SAUNDERS, W.M.H.; UPSDELL, M. Influence of pH, time and rate of application of phosphate rock on dissolution and availability in pastures. I. Agronomic benefits. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 28, n. 1, p. 85-93, 1991.

RENGASAMY, P.; CHURCHMAN, G.J. Cation Exchange capacity, exchangeable cations and sodicity. In: PEVERILL, K.I.; SPARROW, L.A.; REUTER, D.J. (Ed.). **Soil Analysis: An Interpretation Manual**. Collingwood: CSIRO Publishing, 1999. p. 147-157.

RAYMENT, G.E. Statistical aspects of soil and plant test measurement and calibration in Australasia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 1/3, p. 107-120, 2005.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimophisica**, Paris v.4, p.1-5, 1972.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.; V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in Agriculture**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p.151-193.

RODRIGUEZ-SUAREZ, J.A.; ARIAS, M.; LOPEZ, E.; SOTO, B. Comparison of multi-element to single-element extractants for macro- and micronutrients in acid soils from Spain. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 1/2, p. 231-240, 2008.

RUTHERFORD, P.M.; DUDAS, M.J.; SAMEK, R.A. Environmental impacts of phosphogypsum. **The Science of Total Environment**. Ann Arbor, v.149, p. 1-38, 1994.

SABBE, W.E.; DUNHAM, S.C. Comparison of soil phosphorus extractants as affected by fertilizer phosphorus sources, lime recommendation and time among four Arkansas soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 11/14, p. 1763-1770, 1998.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.

SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p.471-514.

SANTOS, D.R. dos; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**. 4th ed. Cary, 1996.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; PALHANO, J.B.; DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.111-115, 1979.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W; PAVAN, M.A.; FEY, M.V. Use of gypsum on soils: a review. **Advances in Soil Science**. New York, v. 9, p.1-111, 1989.

SHARPLEY, A.N. Bioavailable phosphorus in soil. In: PIERZYNSKI, G.M. (Ed.) **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters**. USDA-CSREES Regional Committee, 2000. p. 39-44.(Southern cooperative series bull.,396).

SHARPLEY, A.N. Soil-Phosphorus Extracted by Iron-Aluminum-Oxide-Impregnated Filter-Paper. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 55, n.4, p. 1038-1041, 1991.

SHEETS, R.G.; BERGQUIST, B.A. Laboratory treatability testing of soils contaminated with lead and PCBs using particle-size separation and soil washing. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 63, n. 1/2, p. 137-150, 1999.

SHOBER, A.L.; SIMS, J.T. Integrating phosphorus source and soil properties into risk assessments for phosphorus loss. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 2, p. 551-560, 2007.

SHOONOVER, W.R. **Examination of soils for alkali**. Berkeley: University of California Extensive Service, 1952 (mimeografado)

SIBBESEN, E. An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. **Plant and Soil**, The Hague, v.50, n.2, p.305-321, 1978.

SIKORA, F.J.; HOWE, P.S.; HILL, L.E.; REID, D.C.; HAROVER, D.E. Comparison of colorimetric and ICP determination of phosphorus in Mehlich3 soil extracts. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 7/8, p. 875-887, 2005.

SILVA, F C.; RAIJ, B van. Disponibilidade de fósforo em fósforo avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVA, W.M.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2277-2285, 1999.

SILVEIRA, M.M.L. de; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, E.V.S.B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 281-291, 2006.

SIMS, J.T. Environmental soil testing for phosphorus. **Journal of Production and Agriculture**, Madison, v.6, n. 4, p.501-507, 1993.

_____. Soil fertility evaluation. In: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. New York, CRC Press, 1999. p. D113-153.

SISSINGH, H.A. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. **Plant and Soil**, The Hague, v.34, n. 2, p. 483-486, 1971.

_____. **Estimation of plant-available phosphates in tropical soils: A new analytical technique**. Haren: Netherlands, Institute of Soil Fertility Research, 1983. 12p.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.AC. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um Latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.2, p. 663-673, 2008.

SOUSA, D.M.G. de.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. 416 p.

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos do Cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992. Uberaba. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1992. p.139-158.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 20p. (Circular Técnica, 32)

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.

SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York, Oxford University, 1984. 234p.

SUMNER, M.E. Gypsum and acid soils: The world scene. **Advances in Agronomy**. San Diego, v. 51, p. 1-32, 1993.

_____. Soil testing and plant analysis: Building a future on our legacy. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v. 37, n. 15/20, p. 2277-2287, 2006.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n. 5, p.1254-1278, 1986.

SUZUKI, A.; BASSO, C.; WILMS, F.W.W. O uso do gesso como fonte complementar de cálcio em macieira. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992. Uberaba, 1992. **Anais...** São Paulo. IBRAFOS, 1992. p. 225-240.

SYSTAT SOFTWARE Inc – SSI. **TableCurve 3D, version 4**. 2002. Disponível em: <http://www.systat.com/products/TableCurve3D/>. Acesso em: 22 set. 2008.

SYSTAT SOFTWARE Inc – SSI. **Sigmaplot for Windows, version 10**. 2006. Disponível em: <http://www.systat.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 22 set.2008.

THOMAS, G.W.; PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.). **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: SSSA, 1973. p.115-132.

TIESSSEN, H.; MOIR, J.O. Characterization of available P by sequential extraction in soil sampling and method of analysis. In: CARTER, M.R. (Ed.) **Soil Sampling and Methods of Analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, 1993. p.75–86.

TOMA, M.; SUMNER, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n. 4, p.891- 895, 1999.

UFG / EMGOPA. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás; 5ª aproximação**. Goiânia, 1988. 101p. (Informativo técnico, 1)

VAIDYANATHAN, L.V.; TALIBUDEEN, O. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion exchange resins. **Journal of soil Science**, Oxford, v. 21, p. 173-183, 1970.

VERMEULEN, F.H.B. Control of the reproducibility and accuracy of routine analyses at the laboratory for soil and crop testing in the Netherlands. **Plant and Soil**, The Hague, v. 4, n. 3, p. 267-275, 1953.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.(Ed.). **Tópicos em ciência do solo**, 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2000. p.1-53.

VITAL, A.F.M.; SANTOS, R.V. dos; CAVALCANTE, L.V.; SOUTO, J.S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 30-36, 2005.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. (Ed.) **SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS**, 1997. **Anais...** Jaboticabal: FCAV – UNESP, 1997. p.63-111.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104p.

YAMADA, T. **Capacidade de adsorção máxima de sulfato do solo como parâmetro adicional na recomendação de gesso**. 1988. 73p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição da Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Querioz”, Piracicaba, 1988.

WELSH, C.D.; WIESE, R.A. Opportunities to improve soil testing programs. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.1-12.

WIETHÖLTER, S. **Controle de qualidade de análises de solo da ROLAS e reflexos nas recomendações de calagem e de adubação** - 1997. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA, 29., 1997, Guaíba. **Anais...** Guaíba, 1997. 5p.

WILD, A. Soluble phosphate in soil and uptake by plants. **Nature**, New York, v.203, n.4942, p.326-327, 1964.

WOLF, A.M.; JONES, J.B.; HOOD, T. Proficiency testing for improving analytical performance in soil testing laboratories: A summary of results from the council's soil and plant analysis proficiency testing programs. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n. 5/8, p. 1611-1622,1996.

ZEE, S.E.A.T. van der; FOKKINK, L.G.J.; VANRIEMSDIJK, W.H. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 599-604, 1987.

APÊNDICES

Apêndice A



Figura A1 - Local de coleta dos cinco solos utilizados nos experimentos



Figura 2A – Experimento de incubação



Figura 3A – Vista geral do primeiro cultivo de milho aos 45 dias após a emergência: (A) tratamentos 1 a 9; (B) tratamentos 10 a 18.



Figura 4A - Preparo das tiras de papel de filtro impregnadas com óxido de ferro: (A) Papel de filtro secando após a imersão em solução de cloreto de ferro; (B) Procedimento de amonificação; (C) Papel de filtro após a amonificação; (D) Emprego das tiras na extração de fósforo

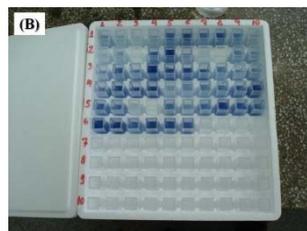


Figura 5A - Leituras de fósforo pelo método colorimétrico: (A) Curva de calibração; (B) Amostras preparadas para leitura; (C) Ajuste do espectrofotômetro com a curva de calibração e; (D) Detalhe da leitura de uma amostra

Apêndice B

Experimento I: Disponibilidade de fósforo em amostras de quatro solos, avaliada pelo método da resina de troca iônica, após a aplicação de fosfogesso

Tabela B1 – Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica

Fosfogesso (g kg ⁻¹)	Teor de P, mg dm ⁻³			Média	CV (%)
	Rep. A	Rep. B	Rep. C		
Solo 1					
0	26	21	21	23 (2,8) ¹	12,3
1	24	21	21	22 (1,9)	8,7
2	25	30	22	25 (3,9)	15,5
4	30	35	31	32 (2,9)	9,1
25	26	37	35	33 (6,4)	19,4
50	7	13	7	9 (3,3)	38,2
Solo 2					
0	23	23	23	23 (0,5)	2,0
1	20	24	27	24 (3,5)	14,6
2	23	32	22	26 (5,3)	20,6
4	27	31	30	29 (2,1)	7,3
25	20	34	35	30 (8,6)	28,8
50	16	21	14	17 (3,7)	21,8
Solo 3					
0	42	43	43	43 (0,4)	1,0
1	38	46	45	43 (4,0)	9,3
2	42	43	46	43 (2,0)	4,6
4	49	56	43	49 (6,8)	13,9
25	53	35	46	45 (8,6)	19,4
50	10	14	19	14 (4,5)	31,0
Solo 4					
0	41	41	39	40 (1,3)	3,1
1	46	34	35	38 (6,9)	17,9
2	32	39	37	36 (3,4)	9,5
4	38	46	39	41 (4,7)	11,4
25	34	34	41	37 (4,1)	11,4
50	8	9	8	9 (0,4)	4,7

¹ Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média.

Apêndice C

Experimento II: Teores de fósforo em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função de doses de fosfogesso, gipsita ou gesso puro

Tabela C1 - Resumo do quadro da análise de variância, expresso pelos valores dos quadrados médios, para as variáveis teor de P (P-mehlich, P-resina e P-papel-pi), teor de Ca-resina e pH (CaCl₂)

F.V. ¹	G.L. ²	Valores dos Quadrados Médios				
		P-Mehlich	P-resina	P-Papel-Pi	Ca-resina	pH-CaCl ₂
TG	2	10425**	881**	20678**	35382**	155392**
FP	2	27792**	17560**	30662**	7911**	1053 ^{ns}
DG	5	2969**	4601**	3750**	1151685**	36736**
TG x FP	4	895**	282**	11 ^{ns}	761 ^{ns}	107 ^{ns}
Resíduo	148	209	104	315	1087	722
CV (%)		28,72	14,35	18,9	14,46	4,85

¹ Fonte de Variação = TG: tipo de gesso; FP: fonte de fósforo; DG: dose de gesso;

² Graus de liberdade;

^{ns}, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F.

Tabela C2 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P _{MEHLICH}			Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	16	16	16	16 (0,1) ²	0,4
2	-	0	2,5	22	20	19	20 (1,6)	8,0
3	-	0	12,5	36	23	40	33 (9,1)	27,7
4	-	0	25,0	56	63	48	55 (7,6)	13,6
5	-	0	50,0	79	83	74	79 (4,4)	5,5
6	-	0	75,0	95	94	101	96 (3,7)	3,8
7	FNR	100	0,0	43	45	44	44 (0,8)	1,8
8	FNR	100	2,5	57	58	53	56 (2,4)	4,3
9	FNR	100	12,5	68	65	71	68 (3,3)	4,8
10	FNR	100	25,0	83	82	82	82 (0,9)	1,0
11	FNR	100	50,0	94	110	108	104 (8,9)	8,6
12	FNR	100	75,0	124	148	126	133 (13,5)	10,2
13	SFT	100	0,0	40	41	40	40 (0,5)	1,1
14	SFT	100	2,5	44	45	41	44 (2,2)	5,1
15	SFT	100	12,5	56	51	58	55 (3,3)	6,0
16	SFT	100	25,0	74	67	68	69 (3,5)	5,1
17	SFT	100	50,0	86	83	96	88 (6,6)	7,5
18	SFT	100	75,0	113	105	112	110 (4,5)	4,1

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C3 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de gipsita

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Gipsita	P _{MEHLICH}			Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	11	10	9	10 (0,8) ²	8,1
2	-	0	2,5	12	12	9	11 (1,5)	13,9
3	-	0	12,5	12	16	11	13 (2,7)	21,0
4	-	0	25,0	11	12	13	12 (1,1)	8,9
5	-	0	50,0	13	16	14	14 (1,3)	9,4
6	-	0	75,0	11	15	14	14 (2,3)	16,9
7	FNR	100	0,0	60	67	56	61 (5,2)	8,6
8	FNR	100	2,5	59	62	67	63 (3,8)	6,0
9	FNR	100	12,5	63	56	59	59 (3,6)	6,0
10	FNR	100	25,0	57	54	59	57 (2,7)	4,7
11	FNR	100	50,0	63	57	56	59 (3,9)	6,7
12	FNR	100	75,0	60	67	62	63 (3,4)	5,3
13	SFT	100	0,0	49	49	46	48 (1,4)	3,0
14	SFT	100	2,5	57	49	53	53 (4,3)	8,1
15	SFT	100	12,5	50	50	47	49 (1,5)	3,1
16	SFT	100	25,0	54	51	53	52 (1,4)	2,7
17	SFT	100	50,0	51	52	51	52 (0,4)	0,7
18	SFT	100	75,0	52	50	55	52 (3,0)	5,7

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C4 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de gesso puro

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Gesso puro g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	12	10	10	11 (0,7) ²	6,7
2	-	0	2,5	13	10	10	11 (1,4)	13,0
3	-	0	12,5	11	15	10	12 (2,8)	22,7
4	-	0	25,0	13	14	12	13 (1,1)	8,7
5	-	0	50,0	14	14	13	14 (1,0)	7,5
6	-	0	75,0	14	13	14	14 (0,7)	4,9
7	FNR	100	0,0	61	69	73	67 (6,2)	9,2
8	FNR	100	2,5	56	75	61	64 (10,1)	15,8
9	FNR	100	12,5	67	70	61	66 (4,8)	7,3
10	FNR	100	25,0	67	66	56	63 (6,1)	9,7
11	FNR	100	50,0	60	57	64	60 (3,6)	5,9
12	FNR	100	75,0	69	63	55	63 (6,9)	11,0
13	SFT	100	0,0	52	49	53	51 (1,9)	3,6
14	SFT	100	2,5	56	47	58	54 (5,7)	10,7
15	SFT	100	12,5	52	59	55	55 (3,6)	6,4
16	SFT	100	25,0	57	61	58	59 (1,9)	3,2
17	SFT	100	50,0	57	54	50	54 (3,4)	6,3
18	SFT	100	75,0	56	52	52	53 (2,3)	4,3

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C5 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	9	11	12	11 (1,6) ²	15,0
2	-	0	2,5	11	12	11	12 (0,7)	6,4
3	-	0	12,5	27	24	22	24 (2,8)	11,6
4	-	0	25,0	16	17	19	18 (1,6)	8,9
5	-	0	50,0	11	6	8	8 (2,8)	33,6
6	-	0	75,0	7	6	7	7 (0,7)	10,5
7	FNR	100	0,0	36	37	43	39 (3,7)	9,5
8	FNR	100	2,5	46	51	49	49 (2,7)	5,6
9	FNR	100	12,5	55	61	63	60 (4,3)	7,2
10	FNR	100	25,0	36	37	39	38 (1,7)	4,5
11	FNR	100	50,0	29	29	28	29 (0,5)	1,9
12	FNR	100	75,0	18	23	33	25 (7,5)	30,5
13	SFT	100	0,0	70	66	62	66 (3,9)	5,9
14	SFT	100	2,5	71	67	65	68 (3,2)	4,8
15	SFT	100	12,5	75	76	67	73 (4,9)	6,7
16	SFT	100	25,0	45	41	37	41 (4,0)	9,7
17	SFT	100	50,0	20	25	29	25 (4,3)	17,3
18	SFT	100	75,0	13	26	22	20 (6,4)	31,9

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C6 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de gipsita

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P	Gipsita	P _{RESINA}				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	15	13	14	14 (1,0) ²	7,4
2	-	0	2,5	12	11	13	12 (0,7)	6,0
3	-	0	12,5	10	9	8	9 (1,0)	11,2
4	-	0	25,0	9	6	6	7 (1,6)	23,4
5	-	0	50,0	8	6	5	6 (1,5)	24,1
6	-	0	75,0	4	5	4	4 (0,3)	7,9
7	FNR	100	0,0	48	49	61	53 (7,2)	13,7
8	FNR	100	2,5	41	44	54	46 (6,9)	15,1
9	FNR	100	12,5	35	32	41	36 (4,5)	12,4
10	FNR	100	25,0	28	26	35	29 (5,0)	17,0
11	FNR	100	50,0	17	22	24	21 (3,4)	16,0
12	FNR	100	75,0	14	21	23	19 (4,4)	22,8
13	SFT	100	0,0	69	68	81	73 (7,0)	9,7
14	SFT	100	2,5	60	59	75	65 (8,9)	13,8
15	SFT	100	12,5	55	54	59	56 (2,4)	4,3
16	SFT	100	25,0	34	40	43	39 (4,6)	11,8
17	SFT	100	50,0	18	21	28	22 (5,0)	22,9
18	SFT	100	75,0	19	19	18	19 (0,9)	5,0

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C7 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de gesso puro

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P	Gesso puro	P _{RESINA}				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	15	13	13	13 (1,1) ²	8,4
2	-	0	2,5	11	10	13	11 (1,4)	12,6
3	-	0	12,5	11	10	9	10 (1,0)	10,4
4	-	0	25,0	9	11	8	9 (1,4)	15,6
5	-	0	50,0	5	8	10	7 (2,5)	34,4
6	-	0	75,0	4	5	7	5 (1,6)	29,6
7	FNR	100	0,0	47	45	41	44 (3,1)	6,9
8	FNR	100	2,5	30	36	37	34 (3,3)	9,8
9	FNR	100	12,5	18	22	24	21 (3,0)	14,0
10	FNR	100	25,0	16	18	14	16 (2,0)	12,1
11	FNR	100	50,0	9	15	12	12 (2,9)	23,3
12	FNR	100	75,0	13	11	9	11 (2,0)	18,2
13	SFT	100	0,0	75	76	81	77 (3,1)	4,0
14	SFT	100	2,5	75	70	73	72 (2,6)	3,7
15	SFT	100	12,5	59	57	53	56 (3,1)	5,5
16	SFT	100	25,0	40	33	35	36 (3,5)	9,8
17	SFT	100	50,0	12	15	13	13 (1,8)	13,3
18	SFT	100	75,0	13	9	12	11 (2,1)	18,4

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C8 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogesso

Tratamento	Fonte de P	Dose de P	Fosfogesso	P PAPEL-Pi				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	11	7	7	8 (2,3) ²	27,7
2	-	0	2,5	10	14	13	12 (2,1)	16,9
3	-	0	12,5	22	22	27	24 (2,9)	12,2
4	-	0	25,0	34	43	33	37 (5,5)	15,0
5	-	0	50,0	65	79	58	67 (10,7)	15,9
6	-	0	75,0	99	107	107	104 (4,6)	4,4
7	FNR	100	0,0	19	14	22	18 (4,0)	22,0
8	FNR	100	2,5	15	23	29	22 (7,0)	31,4
9	FNR	100	12,5	28	23	23	25 (2,9)	11,7
10	FNR	100	25,0	46	37	40	41 (4,6)	11,2
11	FNR	100	50,0	85	70	76	77 (7,5)	9,8
12	FNR	100	75,0	113	109	103	108 (5,0)	4,6
13	SFT	100	0,0	44	49	47	47 (2,5)	5,4
14	SFT	100	2,5	48	55	66	56 (9,1)	16,1
15	SFT	100	12,5	68	66	71	68 (2,5)	3,7
16	SFT	100	25,0	94	78	79	83 (8,8)	10,6
17	SFT	100	50,0	113	103	120	112 (8,4)	7,5
18	SFT	100	75,0	148	158	141	149 (8,3)	5,6

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C9 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de gipsita

Tratamento	Fonte de P	Dose de P	Gipsita	P PAPEL-Pi				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	9	11	8	9 (1,6) ²	17,2
2	-	0	2,5	7	11	6	8 (2,7)	33,1
3	-	0	12,5	5	7	5	6 (1,4)	25,0
4	-	0	25,0	6	11	8	8 (2,4)	28,0
5	-	0	50,0	5	8	12	8 (3,6)	43,8
6	-	0	75,0	6	6	9	7 (1,7)	23,3
7	FNR	100	0,0	17	18	13	16 (2,5)	15,4
8	FNR	100	2,5	13	16	10	13 (3,2)	24,2
9	FNR	100	12,5	13	8	12	11 (2,6)	23,4
10	FNR	100	25,0	11	16	12	13 (2,6)	20,4
11	FNR	100	50,0	14	13	11	13 (1,5)	12,1
12	FNR	100	75,0	17	12	14	14 (2,5)	17,6
13	SFT	100	0,0	52	59	59	57 (3,9)	6,9
14	SFT	100	2,5	49	60	53	54 (5,7)	10,6
15	SFT	100	12,5	52	59	52	54 (3,8)	7,0
16	SFT	100	25,0	50	52	44	49 (4,3)	8,7
17	SFT	100	50,0	49	53	54	52 (2,9)	5,6
18	SFT	100	75,0	50	51	55	52 (2,4)	4,7

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C10 – Dados originais para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de gesso puro

Tratamento	Fonte de P	Dose de P	Gesso puro	P _{PAPÉL-PI}			Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%
1	-	0	0,0	9	8	14	10 (3,2) ²	31,1
2	-	0	2,5	8	6	9	8 (1,7)	22,6
3	-	0	12,5	12	9	15	12 (3,2)	26,7
4	-	0	25,0	7	10	9	9 (1,6)	18,3
5	-	0	50,0	7	6	8	7 (1,2)	16,8
6	-	0	75,0	8	7	12	9 (2,6)	29,0
7	FNR	100	0,0	19	22	21	20 (1,4)	6,8
8	FNR	100	2,5	17	14	22	18 (3,7)	21,0
9	FNR	100	12,5	11	20	10	14 (5,4)	40,0
10	FNR	100	25,0	10	17	9	12 (4,2)	36,3
11	FNR	100	50,0	18	12	14	14 (2,8)	19,7
12	FNR	100	75,0	12	13	10	12 (1,5)	13,3
13	SFT	100	0,0	56	57	45	53 (6,8)	12,8
14	SFT	100	2,5	56	52	59	56 (3,7)	6,6
15	SFT	100	12,5	52	44	57	51 (6,1)	12,0
16	SFT	100	25,0	52	45	51	49 (3,8)	7,6
17	SFT	100	50,0	56	57	49	54 (4,4)	8,1
18	SFT	100	75,0	49	49	48	49 (0,3)	0,7

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;Tabela C11 – Dados originais para a variável teor de Ca²⁺ trocável, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ²	Dose de P	Fosfogesso	Ca _{RESINA}			Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mmol _c dm ⁻³				%
1	-	0	0,0	18	20	17	18 (1,5) ²	8,1
2	-	0	2,5	49	37	45	43 (6,2)	14,4
3	-	0	12,5	120	135	133	130 (8,0)	6,2
4	-	0	25,0	297	226	262	262 (35,7)	13,6
5	-	0	50,0	442	469	469	460 (15,3)	3,3
6	-	0	75,0	581	589	644	605 (34,0)	5,6
7	FNR	100	0,0	25	26	27	26 (0,8)	3,0
8	FNR	100	2,5	44	47	53	48 (4,5)	9,4
9	FNR	100	12,5	133	133	134	133 (0,4)	0,3
10	FNR	100	25,0	235	255	265	252 (15,3)	6,1
11	FNR	100	50,0	443	431	464	446 (16,7)	3,7
12	FNR	100	75,0	599	615	639	618 (20,1)	3,3
13	SFT	100	0,0	23	24	24	24 (0,7)	3,1
14	SFT	100	2,5	50	40	47	45 (4,8)	10,6
15	SFT	100	12,5	145	124	127	132 (11,3)	8,6
16	SFT	100	25,0	258	273	268	266 (7,7)	2,9
17	SFT	100	50,0	482	495	439	472 (29,6)	6,3
18	SFT	100	75,0	650	665	651	655 (8,5)	1,3

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C12 – Dados originais para a variável teor de Ca^{2+} trocável, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de gipsita

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Gipsita	Ca _{RESINA}				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mmol _c dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	28	20	26	25 (4,2) ²	17,0
2	-	0	2,5	38	32	33	34 (3,2)	9,2
3	-	0	12,5	116	110	126	117 (8,2)	7,0
4	-	0	25,0	167	189	172	176 (11,6)	6,6
5	-	0	50,0	293	339	281	304 (30,6)	10,1
6	-	0	75,0	490	499	501	497 (5,9)	1,2
7	FNR	100	0,0	29	22	24	25 (4,0)	15,9
8	FNR	100	2,5	59	51	47	52 (6,2)	11,8
9	FNR	100	12,5	156	143	140	146 (8,6)	5,9
10	FNR	100	25,0	232	194	221	216 (19,9)	9,2
11	FNR	100	50,0	291	364	340	332 (37,2)	11,2
12	FNR	100	75,0	542	508	460	503 (41,5)	8,2
13	SFT	100	0,0	16	24	27	23 (5,7)	25,0
14	SFT	100	2,5	50	61	50	54 (6,2)	11,6
15	SFT	100	12,5	142	112	140	131 (16,6)	12,7
16	SFT	100	25,0	212	220	229	220 (8,7)	4,0
17	SFT	100	50,0	408	379	388	392 (14,7)	3,7
18	SFT	100	75,0	501	625	536	554 (64,1)	11,6

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;Tabela C13 – Dados originais para a variável teor de Ca^{2+} trocável, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de gesso puro

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	Ca _{RESINA}				CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mmol _c dm ⁻³			%	
1	-	0	0,0	23	21	30	24 (4,7) ²	19,5
2	-	0	2,5	40	37	29	35 (5,8)	16,6
3	-	0	12,5	120	125	106	117 (10,0)	8,5
4	-	0	25,0	256	186	180	207 (42,6)	20,5
5	-	0	50,0	316	336	351	335 (17,6)	5,3
6	-	0	75,0	481	498	522	500 (20,6)	4,1
7	FNR	100	0,0	22	19	26	22 (3,5)	15,6
8	FNR	100	2,5	51	48	40	46 (6,0)	13,0
9	FNR	100	12,5	168	136	140	148 (17,3)	11,7
10	FNR	100	25,0	237	258	222	239 (18,0)	7,5
11	FNR	100	50,0	305	369	320	331 (33,3)	10,1
12	FNR	100	75,0	519	529	500	516 (14,8)	2,9
13	SFT	100	0,0	27	33	29	30 (3,1)	10,5
14	SFT	100	2,5	57	50	40	49 (8,5)	17,5
15	SFT	100	12,5	154	170	149	157 (11,1)	7,1
16	SFT	100	25,0	253	187	190	210 (37,4)	17,8
17	SFT	100	50,0	399	364	402	388 (21,1)	5,4
18	SFT	100	75,0	493	516	559	523 (33,5)	6,4

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C14 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após a adição de doses de fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	pH				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹				
1	-	0	0,0	4,90	5,01	4,96	4,96 (0,06) ¹²	1,1
2	-	0	2,5	4,88	4,97	4,93	4,93 (0,05)	0,9
3	-	0	12,5	4,99	5,01	4,99	5,00 (0,01)	0,2
4	-	0	25,0	5,03	5,00	5,05	5,03 (0,03)	0,5
5	-	0	50,0	4,96	4,98	5,06	5,00 (0,05)	1,1
6	-	0	75,0	5,03	5,07	5,09	5,06 (0,03)	0,6
7	FNR	100	0,0	4,98	4,92	4,99	4,96 (0,04)	0,8
8	FNR	100	2,5	5,09	5,06	5,05	5,07 (0,02)	0,4
9	FNR	100	12,5	5,00	4,99	5,02	5,00 (0,02)	0,3
10	FNR	100	25,0	5,15	5,13	5,11	5,13 (0,02)	0,4
11	FNR	100	50,0	5,11	5,11	5,09	5,10 (0,01)	0,2
12	FNR	100	75,0	5,13	5,16	5,13	5,14 (0,02)	0,3
13	SFT	100	0,0	4,96	4,99	4,95	4,97 (0,02)	0,4
14	SFT	100	2,5	5,01	5,03	4,99	5,01 (0,02)	0,4
15	SFT	100	12,5	4,96	4,95	4,89	4,93 (0,04)	0,8
16	SFT	100	25,0	5,08	5,04	5,11	5,08 (0,04)	0,7
17	SFT	100	50,0	5,06	5,05	5,05	5,05 (0,01)	0,1
18	SFT	100	75,0	5,08	5,05	5,04	5,06 (0,02)	0,4

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;Tabela C15 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após a adição de doses de gipsita

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Gipsita g kg ⁻¹	pH				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹				
1	-	0	0,0	5,16	5,01	4,93	5,03 (0,12) ¹²	2,3
2	-	0	2,5	5,16	5,06	5,01	5,08 (0,08)	1,5
3	-	0	12,5	5,18	5,21	5,26	5,22 (0,04)	0,8
4	-	0	25,0	5,51	5,44	5,47	5,47 (0,04)	0,6
5	-	0	50,0	5,90	5,89	5,98	5,92 (0,05)	0,8
6	-	0	75,0	6,10	6,00	6,06	6,05 (0,05)	0,8
7	FNR	100	0,0	5,20	5,25	5,17	5,21 (0,04)	0,8
8	FNR	100	2,5	5,13	5,08	5,16	5,12 (0,04)	0,8
9	FNR	100	12,5	5,21	5,22	5,27	5,23 (0,03)	0,6
10	FNR	100	25,0	5,61	5,52	5,70	5,61 (0,09)	1,6
11	FNR	100	50,0	5,99	5,91	6,00	5,97 (0,05)	0,8
12	FNR	100	75,0	5,99	6,11	6,10	6,07 (0,07)	1,1
13	SFT	100	0,0	5,13	5,08	5,09	5,10 (0,03)	0,5
14	SFT	100	2,5	5,08	5,07	5,06	5,07 (0,01)	0,2
15	SFT	100	12,5	5,21	5,35	5,28	5,28 (0,07)	1,3
16	SFT	100	25,0	5,52	5,44	5,41	5,46 (0,06)	1,0
17	SFT	100	50,0	5,89	5,83	5,91	5,88 (0,04)	0,7
18	SFT	100	75,0	6,04	6,07	6,11	6,07 (0,04)	0,6

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela C16 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após a adição de doses de gesso puro

Tratamento	Fonte de P	Dose de P mg kg ⁻¹	Gesso puro g kg ⁻¹	pH			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹				
1	*	0	0,0	5,09	5,24	4,93	5,09 (0,16) ²	3,0
2	*	0	2,5	5,39	5,47	5,69	5,52 (0,16)	2,8
3	*	0	12,5	5,81	6,01	5,59	5,80 (0,21)	3,6
4	*	0	25,0	6,45	6,21	6,47	6,38 (0,14)	2,3
5	*	0	50,0	6,49	6,74	6,59	6,61 (0,13)	1,9
6	*	0	75,0	6,69	6,83	6,71	6,74 (0,08)	1,1
7	FNR	100	0,0	5,34	5,00	5,21	5,18 (0,17)	3,3
8	FNR	100	2,5	5,48	5,24	5,33	5,35 (0,12)	2,3
9	FNR	100	12,5	6,25	6,18	6,16	6,20 (0,05)	0,8
10	FNR	100	25,0	6,63	6,59	6,55	6,59 (0,04)	0,6
11	FNR	100	50,0	6,73	6,71	6,69	6,71 (0,02)	0,3
12	FNR	100	75,0	6,90	6,77	6,81	6,83 (0,07)	1,0
13	SFT	100	0,0	5,25	5,21	5,31	5,26 (0,05)	1,0
14	SFT	100	2,5	5,45	5,38	5,34	5,39 (0,06)	1,0
15	SFT	100	12,5	6,18	6,19	6,24	6,20 (0,03)	0,5
16	SFT	100	25,0	6,55	6,51	6,54	6,53 (0,02)	0,3
17	SFT	100	50,0	6,73	6,59	6,61	6,64 (0,08)	1,1
18	SFT	100	75,0	6,72	6,73	6,69	6,71 (0,02)	0,3

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Apêndice D

Experimento III: Disponibilidade de fósforo em amostras de cinco solos após a adição de fosfogesso e fontes de fósforo

Tabela D1 - Resumo do quadro da análise de variância, expresso pelos valores dos quadrados médios, para a variável teor de P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Neossolo Quartzarênico (RQ), Vertissolo Hidromórfico (VG) e Neossolo Flúvico (RY)

F.V. ¹	G.L. ²	Valores dos Quadrados Médios				
		LVA	NV	RQ	VG	RY
FP	1	1437**	1586**	3 ^{ns}	580**	2 ^{ns}
DP	2	7740**	3819**	140452**	46988**	32500**
DF	7	15107**	3767**	61981**	21656**	17351**
FP x DP	2	428**	464**	38 ^{ns}	510**	182*
FP x DF	7	34 ^{ns}	32 ^{ns}	82 ^{ns}	39 ^{ns}	38 ^{ns}
DP x DF	14	62**	97**	598**	553**	122**
FP x DP x DF	14	17 ^{ns}	18 ^{ns}	107 ^{ns}	56**	27 ^{ns}
Resíduo	96	27	18	101	41	39
CV (%)		8,7	14,8	6,9	12,0	6,8

¹ Fonte de Variação = FP: fonte de fósforo; DP: dose de fósforo; DF: dose de fosfogesso

² Graus de liberdade;

^{ns}, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F

Tabela D2 - Resumo do quadro da análise de variância, expresso pelos valores dos quadrados médios, para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Neossolo Quartzarênico (RQ), Vertissolo Hidromórfico (VG) e Neossolo Flúvico (RY)

F.V. ¹	G.L. ²	Valores dos Quadrados Médios				
		LVA	NV	RQ	VG	RY
FP	1	1375**	40 ^{ns}	584**	905**	3916**
DP	2	11982**	4278**	16659**	6976**	5888**
DF	7	2158**	2207**	3136**	3396**	1889**
FP x DP	2	347**	68*	146*	277**	1964**
FP x DF	7	183**	63**	371**	754**	439**
DP x DF	14	286**	284**	505**	489**	231**
FP x DP x DF	14	68**	31 ^{ns}	133**	276**	202**
Resíduo	96	13	20	36	24	36
CV (%)		13,1	19,4	16,6	17,0	25,0

¹ Fonte de Variação = FP: fonte de fósforo; DP: dose de fósforo; DF: dose de fosfogesso

² Graus de liberdade;

^{ns}, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F

Tabela D3 - Resumo do quadro da análise de variância, expresso pelos valores dos quadrados médios, para a variável teor de P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Neossolo Quartzarênico (RQ), Vertissolo Hidromórfico (VG) e Neossolo Flúvico (RY)

F.V. ¹	G.L. ²	Valores dos Quadrados Médios				
		LVA	NV	RQ	VG	RY
FP	1	11466**	2835**	10746**	9104**	28056**
DP	2	8148**	2752**	10143**	6222**	15942**
DF	7	20440**	9948**	34492**	10655**	13237**
FP x DP	2	4142**	940**	4183**	2992**	10281**
FP x DF	7	26 ^{ns}	29 ^{ns}	49 ^{ns}	52 ^{ns}	153**
DP x DF	14	13 ^{ns}	49*	133 ^{ns}	113**	58 ^{ns}
FP x DP x DF	14	17 ^{ns}	27 ^{ns}	25 ^{ns}	35 ^{ns}	97*
Resíduo	96	40	26	86	25	46
CV (%)		12,1	14,9	15,0	12,5	11,9

¹ Fonte de Variação = FP: fonte de fósforo; DP: dose de fósforo; DF: dose de fosfogesso

² Graus de liberdade;

^{ns}, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F

Tabela D4 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	16	16	16	16 (0,1) ²	0,4
2	-	0	2,5	22	20	19	20 (1,6)	8,0
3	-	0	5,0	26	23	20	23 (3,1)	13,5
4	-	0	12,5	36	23	40	33 (9,1)	27,7
5	-	0	25,0	56	63	48	55 (7,6)	13,6
6	-	0	37,5	56	68	66	63 (6,4)	10,0
7	-	0	50,0	79	83	74	79 (4,4)	5,5
8	-	0	75,0	95	94	101	96 (3,7)	3,8
9	FNR	50	0,0	28	25	29	28 (1,9)	6,9
10	FNR	50	2,5	29	34	35	33 (3,1)	9,4
11	FNR	50	5,0	34	41	26	34 (7,6)	22,3
12	FNR	50	12,5	45	57	41	48 (8,5)	17,8
13	FNR	50	25,0	67	60	73	67 (6,6)	9,9
14	FNR	50	37,5	78	82	83	81 (2,6)	3,2
15	FNR	50	50,0	97	98	90	95 (4,4)	4,6
16	FNR	50	75,0	110	112	113	112 (1,5)	1,3
17	FNR	100	0,0	43	45	44	44 (0,8)	1,8
18	FNR	100	2,5	57	58	53	56 (2,4)	4,3
19	FNR	100	5,0	54	68	59	60 (6,8)	11,3
20	FNR	100	12,5	68	65	71	68 (3,3)	4,8
21	FNR	100	25,0	83	82	82	82 (0,9)	1,0
22	FNR	100	37,5	94	83	89	89 (5,3)	5,9
23	FNR	100	50,0	94	110	108	104 (8,9)	8,6
24	FNR	100	75,0	124	148	126	133 (13,5)	10,2
25	SFT	50	0,0	23	20	22	22 (1,5)	6,9
26	SFT	50	2,5	24	28	27	27 (2,0)	7,6
27	SFT	50	5,0	28	35	31	31 (3,8)	12,1
28	SFT	50	12,5	38	36	43	39 (3,8)	9,9
29	SFT	50	25,0	60	64	59	61 (2,6)	4,3
30	SFT	50	37,5	75	83	68	75 (7,6)	10,1
31	SFT	50	50,0	79	80	88	82 (4,9)	6,0
32	SFT	50	75,0	105	97	104	102 (4,4)	4,3
33	SFT	100	0,0	40	41	40	40 (0,5)	1,1
34	SFT	100	2,5	44	45	41	44 (2,2)	5,1
35	SFT	100	5,0	59	50	45	51 (6,9)	13,5
36	SFT	100	12,5	56	51	58	55 (3,3)	6,0
37	SFT	100	25,0	74	67	68	69 (3,5)	5,1
38	SFT	100	37,5	83	87	79	83 (4,1)	4,9
39	SFT	100	50,0	86	83	96	88 (6,6)	7,5
40	SFT	100	75,0	113	105	112	110 (4,5)	4,1

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D5 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	8	8	9	8 (0,7) ²	8,6
2	-	0	2,5	9	10	10	9 (0,6)	6,4
3	-	0	5,0	11	8	10	10 (1,6)	16,4
4	-	0	12,5	18	18	15	17 (1,5)	8,7
5	-	0	25,0	19	15	22	19 (3,6)	19,5
6	-	0	37,5	26	25	27	26 (0,9)	3,5
7	-	0	50,0	33	28	28	29 (3,0)	10,3
8	-	0	75,0	37	34	37	36 (2,1)	5,9
9	FNR	50	0,0	14	12	15	14 (1,4)	10,4
10	FNR	50	2,5	15	17	14	15 (1,4)	9,4
11	FNR	50	5,0	21	15	18	18 (2,7)	15,0
12	FNR	50	12,5	22	20	22	21 (1,3)	5,9
13	FNR	50	25,0	33	35	38	35 (2,3)	6,6
14	FNR	50	37,5	47	49	39	45 (5,5)	12,1
15	FNR	50	50,0	48	44	59	50 (7,6)	15,0
16	FNR	50	75,0	57	62	65	61 (4,2)	6,9
17	FNR	100	0,0	26	22	24	24 (2,2)	9,0
18	FNR	100	2,5	25	30	31	29 (3,2)	11,3
19	FNR	100	5,0	31	29	31	30 (1,3)	4,1
20	FNR	100	12,5	31	33	36	33 (2,3)	6,9
21	FNR	100	25,0	40	41	42	41 (0,9)	2,2
22	FNR	100	37,5	52	48	51	50 (1,8)	3,5
23	FNR	100	50,0	61	50	67	59 (8,6)	14,6
24	FNR	100	75,0	80	74	86	80 (5,8)	7,3
25	SFT	50	0,0	9	8	9	9 (0,7)	7,8
26	SFT	50	2,5	11	10	10	10 (0,9)	8,5
27	SFT	50	5,0	18	12	14	15 (2,9)	20,2
28	SFT	50	12,5	22	19	23	21 (1,9)	9,1
29	SFT	50	25,0	30	26	27	27 (2,1)	7,6
30	SFT	50	37,5	33	32	31	32 (1,0)	3,1
31	SFT	50	50,0	33	36	38	36 (2,6)	7,4
32	SFT	50	75,0	42	62	44	50 (11,2)	22,6
33	SFT	100	0,0	14	15	17	15 (1,7)	11,4
34	SFT	100	2,5	13	19	17	16 (2,7)	16,7
35	SFT	100	5,0	17	17	18	17 (0,4)	2,3
36	SFT	100	12,5	24	26	22	24 (1,7)	7,0
37	SFT	100	25,0	27	21	44	30 (11,9)	39,3
38	SFT	100	37,5	43	30	47	40 (8,7)	21,6
39	SFT	100	50,0	50	56	35	47 (10,4)	22,2
40	SFT	100	75,0	62	58	53	58 (4,8)	8,4

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D6 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	33	35	33	34 (0,9) ²	2,8
2	-	0	2,5	42	37	44	41 (3,6)	8,9
3	-	0	5,0	49	44	46	46 (2,8)	6,0
4	-	0	12,5	70	63	70	68 (3,9)	5,8
5	-	0	25,0	109	96	112	106 (8,0)	7,6
6	-	0	37,5	117	137	131	128 (10,2)	8,0
7	-	0	50,0	134	152	144	143 (9,0)	6,3
8	-	0	75,0	171	182	175	176 (5,8)	3,3
9	FNR	50	0,0	75	77	74	75 (1,3)	1,8
10	FNR	50	2,5	83	82	79	81 (2,1)	2,5
11	FNR	50	5,0	103	99	83	95 (10,6)	11,1
12	FNR	50	12,5	127	134	113	125 (10,5)	8,4
13	FNR	50	25,0	164	135	155	151 (15,1)	10,0
14	FNR	50	37,5	182	198	174	185 (12,2)	6,6
15	FNR	50	50,0	211	219	189	206 (15,3)	7,4
16	FNR	50	75,0	248	227	214	230 (17,0)	7,4
17	FNR	100	0,0	109	120	138	122 (14,8)	12,1
18	FNR	100	2,5	146	136	146	143 (5,5)	3,9
19	FNR	100	5,0	155	165	148	156 (8,6)	5,5
20	FNR	100	12,5	183	178	162	174 (11,1)	6,4
21	FNR	100	25,0	193	188	178	186 (7,9)	4,2
22	FNR	100	37,5	212	202	236	217 (17,6)	8,1
23	FNR	100	50,0	271	271	277	273 (3,3)	1,2
24	FNR	100	75,0	324	312	341	326 (14,6)	4,5
25	SFT	50	0,0	73	72	79	75 (3,8)	5,0
26	SFT	50	2,5	84	89	84	86 (2,9)	3,4
27	SFT	50	5,0	87	88	91	89 (2,3)	2,5
28	SFT	50	12,5	121	131	128	127 (4,8)	3,8
29	SFT	50	25,0	154	145	169	156 (12,2)	7,8
30	SFT	50	37,5	179	182	173	178 (4,7)	2,6
31	SFT	50	50,0	180	198	195	191 (9,3)	4,9
32	SFT	50	75,0	257	227	227	237 (17,4)	7,4
33	SFT	100	0,0	137	128	141	135 (6,8)	5,0
34	SFT	100	2,5	156	129	151	146 (14,3)	9,8
35	SFT	100	5,0	164	153	137	151 (13,5)	8,9
36	SFT	100	12,5	196	170	183	183 (12,8)	7,0
37	SFT	100	25,0	202	187	187	192 (8,9)	4,7
38	SFT	100	37,5	223	237	239	233 (8,8)	3,8
39	SFT	100	50,0	283	266	261	270 (11,6)	4,3
40	SFT	100	75,0	279	326	309	305 (23,5)	7,7

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D7 - Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo extrator Mehlich após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH} mg dm ⁻³				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
1	-	0	0,0	22	20	21	21 (1,0) ²	4,7
2	-	0	2,5	27	23	25	25 (2,0)	8,2
3	-	0	5,0	31	30	28	30 (1,5)	5,1
4	-	0	12,5	41	38	36	38 (2,3)	6,0
5	-	0	25,0	45	44	43	44 (0,9)	2,1
6	-	0	37,5	61	62	68	64 (3,7)	5,8
7	-	0	50,0	77	89	79	82 (6,5)	8,0
8	-	0	75,0	98	90	95	94 (4,1)	4,3
9	FNR	50	0,0	26	29	31	29 (2,7)	9,5
10	FNR	50	2,5	46	41	45	44 (3,0)	6,8
11	FNR	50	5,0	51	61	55	55 (4,9)	8,9
12	FNR	50	12,5	59	65	50	58 (7,5)	12,9
13	FNR	50	25,0	75	72	64	71 (5,6)	8,0
14	FNR	50	37,5	98	103	94	98 (4,3)	4,4
15	FNR	50	50,0	109	99	118	109 (9,8)	9,0
16	FNR	50	75,0	113	117	141	124 (15,5)	12,6
17	FNR	100	0,0	67	72	74	71 (3,2)	4,6
18	FNR	100	2,5	68	86	78	77 (8,6)	11,2
19	FNR	100	5,0	82	81	83	82 (1,0)	1,2
20	FNR	100	12,5	84	87	78	83 (5,0)	6,0
21	FNR	100	25,0	125	90	106	107 (17,3)	16,1
22	FNR	100	37,5	125	121	130	125 (4,4)	3,5
23	FNR	100	50,0	151	161	141	151 (10,3)	6,8
24	FNR	100	75,0	206	200	192	199 (6,9)	3,5
25	SFT	50	0,0	48	45	37	44 (5,8)	13,3
26	SFT	50	2,5	54	57	49	53 (3,6)	6,8
27	SFT	50	5,0	54	47	51	51 (3,2)	6,2
28	SFT	50	12,5	71	78	76	75 (3,4)	4,6
29	SFT	50	25,0	85	79	85	83 (3,6)	4,4
30	SFT	50	37,5	119	110	117	115 (4,5)	3,9
31	SFT	50	50,0	126	123	115	122 (5,4)	4,4
32	SFT	50	75,0	153	127	133	138 (13,6)	9,9
33	SFT	100	0,0	67	70	68	68 (1,4)	2,1
34	SFT	100	2,5	79	73	66	73 (6,3)	8,7
35	SFT	100	5,0	93	88	90	91 (2,4)	2,7
36	SFT	100	12,5	92	101	93	95 (4,7)	4,9
37	SFT	100	25,0	105	106	99	103 (3,8)	3,7
38	SFT	100	37,5	129	124	130	128 (2,9)	2,3
39	SFT	100	50,0	158	133	166	152 (17,4)	11,4
40	SFT	100	75,0	184	189	197	190 (6,4)	3,4

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D8 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Neossolo Flúvico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	36	32	35	34 (1,9) ²	5,6
2	-	0	2,5	39	37	34	36 (2,2)	6,0
3	-	0	5,0	48	49	47	48 (1,0)	2,1
4	-	0	12,5	56	50	44	50 (6,0)	11,9
5	-	0	25,0	67	71	74	71 (3,8)	5,4
6	-	0	37,5	83	77	71	77 (5,8)	7,6
7	-	0	50,0	92	87	90	89 (2,5)	2,8
8	-	0	75,0	114	118	114	115 (2,3)	2,0
9	FNR	50	0,0	61	60	58	60 (1,5)	2,6
10	FNR	50	2,5	70	61	68	66 (4,4)	6,6
11	FNR	50	5,0	74	77	73	75 (2,2)	2,9
12	FNR	50	12,5	79	77	76	77 (1,1)	1,4
13	FNR	50	25,0	94	94	96	95 (1,6)	1,6
14	FNR	50	37,5	120	111	105	112 (7,6)	6,8
15	FNR	50	50,0	133	129	123	129 (5,0)	3,9
16	FNR	50	75,0	145	156	144	148 (6,8)	4,6
17	FNR	100	0,0	76	76	78	77 (1,0)	1,4
18	FNR	100	2,5	90	86	96	91 (4,9)	5,4
19	FNR	100	5,0	96	85	86	89 (5,9)	6,7
20	FNR	100	12,5	97	110	93	100 (9,1)	9,1
21	FNR	100	25,0	117	129	103	116 (13,5)	11,6
22	FNR	100	37,5	126	125	123	125 (1,7)	1,4
23	FNR	100	50,0	159	151	162	157 (5,4)	3,4
24	FNR	100	75,0	169	162	176	169 (7,0)	4,1
25	SFT	50	0,0	55	57	60	57 (2,5)	4,3
26	SFT	50	2,5	58	58	63	60 (2,7)	4,5
27	SFT	50	5,0	69	59	65	64 (5,3)	8,2
28	SFT	50	12,5	77	73	83	78 (4,7)	6,0
29	SFT	50	25,0	94	88	94	92 (3,4)	3,7
30	SFT	50	37,5	110	115	117	114 (3,8)	3,4
31	SFT	50	50,0	117	121	123	120 (2,7)	2,3
32	SFT	50	75,0	148	131	146	142 (9,2)	6,5
33	SFT	100	0,0	83	80	78	80 (2,5)	3,1
34	SFT	100	2,5	83	88	89	87 (3,1)	3,6
35	SFT	100	5,0	95	95	98	96 (2,1)	2,1
36	SFT	100	12,5	110	111	110	110 (0,6)	0,5
37	SFT	100	25,0	107	112	115	111 (4,2)	3,8
38	SFT	100	37,5	129	124	145	133 (11,0)	8,3
39	SFT	100	50,0	178	148	137	154 (21,1)	13,7
40	SFT	100	75,0	177	199	164	180 (17,7)	9,8

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D9 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	9	11	12	11 (1,6) ²	15,0
2	-	0	2,5	11	12	11	12 (0,7)	6,4
3	-	0	5,0	17	16	14	16 (1,2)	7,8
4	-	0	12,5	27	24	22	24 (2,8)	11,6
5	-	0	25,0	16	17	19	18 (1,6)	8,9
6	-	0	37,5	11	13	9	11 (2,0)	18,3
7	-	0	50,0	11	6	8	8 (2,8)	33,6
8	-	0	75,0	7	6	7	7 (0,7)	10,5
9	FNR	50	0,0	22	24	28	25 (3,2)	12,8
10	FNR	50	2,5	34	23	24	27 (6,2)	22,8
11	FNR	50	5,0	35	24	23	27 (6,5)	23,7
12	FNR	50	12,5	41	35	30	35 (5,3)	15,1
13	FNR	50	25,0	29	24	19	24 (5,1)	21,3
14	FNR	50	37,5	12	18	18	16 (3,2)	19,8
15	FNR	50	50,0	10	12	16	13 (3,0)	23,6
16	FNR	50	75,0	19	8	15	14 (5,4)	38,3
17	FNR	100	0,0	36	37	43	39 (3,7)	9,5
18	FNR	100	2,5	46	51	49	49 (2,7)	5,6
19	FNR	100	5,0	51	51	49	50 (1,2)	2,4
20	FNR	100	12,5	55	61	63	60 (4,3)	7,2
21	FNR	100	25,0	36	37	39	38 (1,7)	4,5
22	FNR	100	37,5	22	27	42	30 (10,3)	34,1
23	FNR	100	50,0	29	29	28	29 (0,5)	1,9
24	FNR	100	75,0	18	23	33	25 (7,5)	30,5
25	SFT	50	0,0	40	33	37	37 (3,0)	8,3
26	SFT	50	2,5	42	35	36	38 (3,4)	8,9
27	SFT	50	5,0	43	45	47	45 (1,9)	4,2
28	SFT	50	12,5	52	54	54	53 (1,0)	1,8
29	SFT	50	25,0	37	30	35	34 (3,6)	10,5
30	SFT	50	37,5	22	19	20	20 (1,3)	6,5
31	SFT	50	50,0	13	11	14	13 (1,7)	13,2
32	SFT	50	75,0	13	11	10	11 (1,6)	14,3
33	SFT	100	0,0	70	66	62	66 (3,9)	5,9
34	SFT	100	2,5	71	67	65	68 (3,2)	4,8
35	SFT	100	5,0	68	77	75	73 (4,5)	6,2
36	SFT	100	12,5	75	76	67	73 (4,9)	6,7
37	SFT	100	25,0	45	41	37	41 (4,0)	9,7
38	SFT	100	37,5	31	31	31	31 (0,3)	1,0
39	SFT	100	50,0	20	25	29	25 (4,3)	17,3
40	SFT	100	75,0	13	26	22	20 (6,4)	31,9

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D10 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	13	12	12	12 (0,6) ²	5,1
2	-	0	2,5	15	17	15	16 (0,8)	5,3
3	-	0	5,0	17	16	19	17 (1,3)	7,8
4	-	0	12,5	24	23	25	24 (1,1)	4,6
5	-	0	25,0	20	18	17	18 (1,7)	9,4
6	-	0	37,5	12	13	12	13 (0,4)	3,3
7	-	0	50,0	7	9	5	7 (1,8)	26,7
8	-	0	75,0	4	5	4	4 (0,5)	13,2
9	FNR	50	0,0	33	28	36	33 (4,2)	13,0
10	FNR	50	2,5	28	31	28	29 (1,9)	6,6
11	FNR	50	5,0	35	28	30	31 (3,5)	11,3
12	FNR	50	12,5	34	35	27	32 (4,4)	13,9
13	FNR	50	25,0	20	26	24	24 (3,1)	13,0
14	FNR	50	37,5	22	11	12	15 (6,0)	40,4
15	FNR	50	50,0	18	12	8	13 (4,6)	36,6
16	FNR	50	75,0	4	7	9	7 (2,6)	38,9
17	FNR	100	0,0	47	54	39	46 (7,4)	16,0
18	FNR	100	2,5	54	46	49	49 (3,8)	7,8
19	FNR	100	5,0	39	37	37	38 (1,4)	3,6
20	FNR	100	12,5	31	35	40	35 (4,3)	12,2
21	FNR	100	25,0	36	31	30	32 (3,0)	9,4
22	FNR	100	37,5	16	20	27	21 (5,4)	25,6
23	FNR	100	50,0	18	14	16	16 (1,7)	10,7
24	FNR	100	75,0	10	11	4	8 (3,9)	47,4
25	SFT	50	0,0	28	25	31	28 (2,9)	10,2
26	SFT	50	2,5	25	31	29	29 (2,7)	9,6
27	SFT	50	5,0	36	36	35	36 (0,4)	1,1
28	SFT	50	12,5	35	34	34	34 (0,9)	2,6
29	SFT	50	25,0	27	22	27	25 (3,1)	12,3
30	SFT	50	37,5	17	16	10	14 (3,5)	24,7
31	SFT	50	50,0	7	4	9	7 (2,5)	36,6
32	SFT	50	75,0	5	4	4	4 (1,0)	23,5
33	SFT	100	0,0	46	62	44	50 (9,8)	19,4
34	SFT	100	2,5	44	70	48	54 (13,7)	25,3
35	SFT	100	5,0	67	45	56	56 (11,2)	19,9
36	SFT	100	12,5	47	49	51	49 (2,2)	4,4
37	SFT	100	25,0	26	41	34	33 (7,8)	23,2
38	SFT	100	37,5	25	11	12	16 (7,6)	48,4
39	SFT	100	50,0	9	21	5	12 (8,3)	71,1
40	SFT	100	75,0	9	5	5	6 (1,8)	28,0

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D11 - Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	12	14	15	13 (1,6) ²	11,7
2	-	0	2,5	17	18	21	19 (1,8)	9,9
3	-	0	5,0	27	22	26	25 (2,6)	10,5
4	-	0	12,5	29	34	29	31 (2,8)	9,2
5	-	0	25,0	25	23	12	20 (6,7)	33,2
6	-	0	37,5	19	15	8	14 (5,4)	38,7
7	-	0	50,0	10	11	19	13 (5,3)	40,7
8	-	0	75,0	11	11	11	11 (0,2)	1,7
9	FNR	50	0,0	35	44	30	36 (7,3)	20,0
10	FNR	50	2,5	40	46	30	39 (8,1)	21,0
11	FNR	50	5,0	52	36	43	44 (8,1)	18,5
12	FNR	50	12,5	37	40	30	36 (5,0)	14,0
13	FNR	50	25,0	32	34	33	33 (1,0)	3,0
14	FNR	50	37,5	36	25	25	29 (6,0)	21,0
15	FNR	50	50,0	19	26	24	23 (3,8)	16,7
16	FNR	50	75,0	11	18	24	18 (6,4)	36,0
17	FNR	100	0,0	58	52	65	58 (6,1)	10,5
18	FNR	100	2,5	71	69	77	73 (3,9)	5,4
19	FNR	100	5,0	65	69	65	66 (2,2)	3,4
20	FNR	100	12,5	57	60	59	59 (1,4)	2,3
21	FNR	100	25,0	51	56	58	55 (3,9)	7,0
22	FNR	100	37,5	45	38	46	43 (4,3)	9,9
23	FNR	100	50,0	52	31	31	38 (11,8)	31,3
24	FNR	100	75,0	41	26	20	29 (10,4)	36,2
25	SFT	50	0,0	41	40	44	42 (1,8)	4,4
26	SFT	50	2,5	56	49	53	53 (3,3)	6,2
27	SFT	50	5,0	63	63	65	64 (1,0)	1,5
28	SFT	50	12,5	55	54	53	54 (1,0)	1,8
29	SFT	50	25,0	33	27	22	27 (5,7)	20,7
30	SFT	50	37,5	23	21	30	25 (4,9)	19,5
31	SFT	50	50,0	26	25	15	22 (6,1)	27,8
32	SFT	50	75,0	27	20	15	21 (6,2)	30,4
33	SFT	100	0,0	78	74	76	76 (1,9)	2,5
34	SFT	100	2,5	86	72	95	84 (11,7)	13,9
35	SFT	100	5,0	101	78	88	89 (11,5)	12,9
36	SFT	100	12,5	103	84	90	93 (9,8)	10,6
37	SFT	100	25,0	42	39	71	51 (17,8)	35,3
38	SFT	100	37,5	29	28	30	29 (1,1)	3,7
39	SFT	100	50,0	27	23	27	26 (2,6)	10,1
40	SFT	100	75,0	22	16	23	20 (3,8)	19,1

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D12 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogeno e fontes de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogeno	P _{RESINA}			Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%
1	-	0	0,0	18	27	25	23 (4,4) ²	18,7
2	-	0	2,5	21	24	25	23 (1,8)	7,5
3	-	0	5,0	24	24	26	25 (1,4)	5,7
4	-	0	12,5	24	21	19	21 (2,5)	11,7
5	-	0	25,0	16	14	16	15 (0,8)	5,1
6	-	0	37,5	17	7	13	12 (5,0)	40,5
7	-	0	50,0	10	10	11	11 (0,6)	5,2
8	-	0	75,0	11	9	10	10 (1,1)	11,0
9	FNR	50	0,0	42	51	33	42 (9,0)	21,5
10	FNR	50	2,5	25	30	21	25 (4,2)	16,6
11	FNR	50	5,0	29	26	23	26 (3,2)	12,5
12	FNR	50	12,5	23	28	22	25 (3,3)	13,5
13	FNR	50	25,0	25	32	27	28 (3,6)	12,6
14	FNR	50	37,5	22	24	24	24 (1,1)	4,7
15	FNR	50	50,0	11	27	19	19 (7,9)	41,8
16	FNR	50	75,0	13	12	18	14 (3,4)	23,6
17	FNR	100	0,0	58	59	52	56 (3,5)	6,2
18	FNR	100	2,5	58	43	42	48 (9,3)	19,6
19	FNR	100	5,0	37	40	39	39 (1,9)	4,9
20	FNR	100	12,5	34	40	37	37 (2,6)	7,0
21	FNR	100	25,0	37	40	40	39 (1,7)	4,3
22	FNR	100	37,5	29	30	25	28 (2,6)	9,2
23	FNR	100	50,0	18	29	29	25 (6,2)	24,8
24	FNR	100	75,0	24	21	23	23 (1,2)	5,2
25	SFT	50	0,0	62	47	53	54 (7,2)	13,4
26	SFT	50	2,5	56	45	36	46 (9,9)	21,8
27	SFT	50	5,0	49	44	56	49 (6,1)	12,5
28	SFT	50	12,5	45	43	34	40 (6,1)	15,1
29	SFT	50	25,0	25	13	19	19 (6,0)	32,4
30	SFT	50	37,5	14	17	15	15 (1,8)	11,7
31	SFT	50	50,0	12	13	12	12 (0,7)	5,7
32	SFT	50	75,0	11	8	9	9 (1,4)	15,5
33	SFT	100	0,0	101	98	106	102 (4,2)	4,1
34	SFT	100	2,5	79	87	79	82 (4,6)	5,7
35	SFT	100	5,0	76	83	76	78 (4,2)	5,4
36	SFT	100	12,5	58	35	38	44 (12,3)	28,1
37	SFT	100	25,0	26	18	19	21 (4,2)	19,8
38	SFT	100	37,5	13	34	11	19 (12,9)	67,6
39	SFT	100	50,0	11	12	16	13 (2,9)	21,8
40	SFT	100	75,0	9	17	12	13 (3,7)	29,6

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D13 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método da Resina de troca iônica, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Neossolo Flúvico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	16	17	17	16 (0,3) ²	2,0
2	-	0	2,5	16	15	15	15 (0,6)	3,9
3	-	0	5,0	16	17	19	17 (1,5)	9,0
4	-	0	12,5	11	17	25	18 (6,7)	37,9
5	-	0	25,0	6	23	7	12 (9,5)	80,4
6	-	0	37,5	7	10	7	8 (1,8)	22,6
7	-	0	50,0	4	10	9	8 (2,9)	37,3
8	-	0	75,0	8	6	7	7 (1,1)	15,9
9	FNR	50	0,0	15	21	16	17 (3,3)	18,8
10	FNR	50	2,5	35	44	20	33 (11,9)	36,1
11	FNR	50	5,0	36	33	20	29 (8,2)	27,8
12	FNR	50	12,5	21	31	26	26 (5,3)	20,3
13	FNR	50	25,0	15	22	29	22 (7,1)	32,2
14	FNR	50	37,5	16	16	7	13 (5,1)	39,8
15	FNR	50	50,0	6	20	13	13 (7,0)	54,4
16	FNR	50	75,0	19	14	7	13 (6,1)	45,9
17	FNR	100	0,0	20	30	13	21 (8,4)	39,6
18	FNR	100	2,5	26	25	34	29 (4,6)	16,3
19	FNR	100	5,0	18	36	43	32 (12,7)	39,3
20	FNR	100	12,5	19	23	36	26 (8,8)	33,7
21	FNR	100	25,0	21	27	16	22 (5,3)	24,8
22	FNR	100	37,5	22	12	23	19 (5,9)	30,9
23	FNR	100	50,0	12	19	18	16 (4,0)	25,0
24	FNR	100	75,0	12	6	29	16 (11,7)	75,2
25	SFT	50	0,0	39	41	39	40 (0,8)	2,1
26	SFT	50	2,5	38	41	41	40 (1,6)	4,1
27	SFT	50	5,0	44	36	44	41 (4,7)	11,4
28	SFT	50	12,5	38	45	33	38 (6,0)	15,6
29	SFT	50	25,0	24	20	28	24 (4,3)	17,7
30	SFT	50	37,5	13	15	12	14 (1,7)	12,7
31	SFT	50	50,0	15	14	11	13 (2,4)	17,6
32	SFT	50	75,0	10	10	9	10 (0,9)	9,7
33	SFT	100	0,0	73	66	76	71 (4,7)	6,6
34	SFT	100	2,5	76	80	69	75 (5,6)	7,5
35	SFT	100	5,0	79	77	78	78 (1,2)	1,5
36	SFT	100	12,5	66	43	50	53 (11,8)	22,2
37	SFT	100	25,0	37	56	42	45 (9,8)	21,8
38	SFT	100	37,5	39	27	28	31 (6,9)	21,9
39	SFT	100	50,0	13	16	14	14 (1,3)	9,3
40	SFT	100	75,0	9	10	9	9 (0,7)	7,1

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D14 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Latossolo Vermelho-amarelo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P PAPEL-Pi			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	11	7	7	8 (2,3) ²	27,7
2	-	0	2,5	10	14	13	12 (2,1)	16,9
3	-	0	5,0	14	15	16	15 (1,0)	6,7
4	-	0	12,5	22	22	27	24 (2,9)	12,2
5	-	0	25,0	34	43	33	37 (5,5)	15,0
6	-	0	37,5	62	53	46	54 (8,0)	14,9
7	-	0	50,0	65	79	58	67 (10,7)	15,9
8	-	0	75,0	99	107	107	104 (4,6)	4,4
9	FNR	50	0,0	9	17	11	12 (4,2)	33,8
10	FNR	50	2,5	14	10	15	13 (2,6)	20,4
11	FNR	50	5,0	20	13	16	16 (3,5)	21,5
12	FNR	50	12,5	22	25	29	25 (3,5)	13,9
13	FNR	50	25,0	41	37	36	38 (2,6)	7,0
14	FNR	50	37,5	60	57	51	56 (4,6)	8,2
15	FNR	50	50,0	67	69	78	71 (5,9)	8,2
16	FNR	50	75,0	98	110	116	108 (9,2)	8,5
17	FNR	100	0,0	19	14	22	18 (4,0)	22,0
18	FNR	100	2,5	15	23	29	22 (7,0)	31,4
19	FNR	100	5,0	27	21	20	23 (3,8)	16,7
20	FNR	100	12,5	28	23	23	25 (2,9)	11,7
21	FNR	100	25,0	46	37	40	41 (4,6)	11,2
22	FNR	100	37,5	61	76	61	66 (8,7)	13,1
23	FNR	100	50,0	85	70	76	77 (7,5)	9,8
24	FNR	100	75,0	113	109	103	108 (5,0)	4,6
25	SFT	50	0,0	24	28	21	24 (3,5)	14,4
26	SFT	50	2,5	32	36	18	29 (9,5)	33,0
27	SFT	50	5,0	33	37	30	33 (3,5)	10,5
28	SFT	50	12,5	45	32	39	39 (6,5)	16,8
29	SFT	50	25,0	54	68	53	58 (8,4)	14,4
30	SFT	50	37,5	74	70	73	72 (2,1)	2,9
31	SFT	50	50,0	79	89	107	92 (14,2)	15,5
32	SFT	50	75,0	130	111	133	125 (11,9)	9,6
33	SFT	100	0,0	44	49	47	47 (2,5)	5,4
34	SFT	100	2,5	48	55	66	56 (9,1)	16,1
35	SFT	100	5,0	55	70	66	64 (7,8)	12,2
36	SFT	100	12,5	68	66	71	68 (2,5)	3,7
37	SFT	100	25,0	93,7	77,6	79,2	84 (8,9)	10,6
38	SFT	100	37,5	94	97	101	97 (3,5)	3,6
39	SFT	100	50,0	112,8	103,2	120	112 (8,4)	7,5
40	SFT	100	75,0	148	157,6	141	149 (8,3)	5,6

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D15 - Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo método do Papel-Pi após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Nitossolo Vermelho

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPEL-Pi}			Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C		
1	-	0	0,0	4	6	6	5 (1,2) ²	21,7
2	-	0	2,5	9	7	12	9 (2,5)	27,0
3	-	0	5,0	13	8	11	11 (2,5)	23,6
4	-	0	12,5	16	15	21	17 (3,2)	18,5
5	-	0	25,0	18	21	23	21 (2,5)	12,2
6	-	0	37,5	34	44	34	37 (5,8)	15,5
7	-	0	50,0	48	51	37	45 (7,4)	16,3
8	-	0	75,0	82	59	62	68 (12,5)	18,5
9	FNR	50	0,0	6	7	8	7 (1,0)	14,3
10	FNR	50	2,5	10	7	8	8 (1,5)	18,3
11	FNR	50	5,0	9	13	16	13 (3,5)	27,7
12	FNR	50	12,5	16	22	16	18 (3,5)	19,2
13	FNR	50	25,0	28	21	23	24 (3,6)	15,0
14	FNR	50	37,5	41	42	33	39 (4,9)	12,8
15	FNR	50	50,0	53	50	52	52 (1,5)	3,0
16	FNR	50	75,0	75	84	77	79 (4,7)	6,0
17	FNR	100	0,0	12	10	12	11 (1,2)	10,2
18	FNR	100	2,5	15	9	8	11 (3,8)	35,5
19	FNR	100	5,0	18	15	12	15 (3,0)	20,0
20	FNR	100	12,5	29	18	27	25 (5,9)	23,8
21	FNR	100	25,0	28	30	26	28 (2,0)	7,1
22	FNR	100	37,5	41	37	47	42 (5,0)	12,1
23	FNR	100	50,0	58	44	54	52 (7,2)	13,9
24	FNR	100	75,0	74	81	87	81 (6,5)	8,1
25	SFT	50	0,0	16	16	23	18 (4,0)	22,0
26	SFT	50	2,5	20	18	21	20 (1,5)	7,8
27	SFT	50	5,0	20	30	17	22 (6,8)	30,5
28	SFT	50	12,5	20	28	18	22 (5,3)	24,1
29	SFT	50	25,0	30	40	39	36 (5,5)	15,2
30	SFT	50	37,5	55	51	49	52 (3,1)	5,9
31	SFT	50	50,0	57	69	67	64 (6,4)	10,0
32	SFT	50	75,0	76	79	72	76 (3,5)	4,6
33	SFT	100	0,0	33	25	31	30 (4,2)	14,0
34	SFT	100	2,5	23	26	19	23 (3,5)	15,5
35	SFT	100	5,0	38	31	22	30 (8,0)	26,4
36	SFT	100	12,5	34	44	28	35 (8,1)	22,9
37	SFT	100	25,0	50	52	53	52 (1,5)	3,0
38	SFT	100	37,5	59	64	71	65 (6,0)	9,3
39	SFT	100	50,0	66	71	70	69 (2,6)	3,8
40	SFT	100	75,0	96	110	101	102 (7,1)	6,9

¹¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D16 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Neossolo Quartzarênico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPEL-PI}				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	7	11	6	8 (2,6) ²	33,1
2	-	0	2,5	12	9	9	10 (1,7)	17,3
3	-	0	5,0	13	12	10	12 (1,5)	13,1
4	-	0	12,5	24	28	20	24 (4,0)	16,7
5	-	0	25,0	59	44	52	52 (7,5)	14,5
6	-	0	37,5	72	83	70	75 (7,0)	9,3
7	-	0	50,0	97	97	82	92 (8,7)	9,4
8	-	0	75,0	131	111	104	115 (14,0)	12,1
9	FNR	50	0,0	7	10	8	8 (1,5)	18,3
10	FNR	50	2,5	10	11	10	10 (0,6)	5,6
11	FNR	50	5,0	21	21	24	22 (1,7)	7,9
12	FNR	50	12,5	30	28	27	28 (1,5)	5,4
13	FNR	50	25,0	55	45	52	51 (5,1)	10,1
14	FNR	50	37,5	73	82	80	78 (4,7)	6,0
15	FNR	50	50,0	101	91	95	96 (5,0)	5,3
16	FNR	50	75,0	131	110	140	127 (15,4)	12,1
17	FNR	100	0,0	11	14	19	15 (4,0)	27,6
18	FNR	100	2,5	16	11	32	20 (11,0)	55,8
19	FNR	100	5,0	19	27	19	22 (4,6)	21,3
20	FNR	100	12,5	32	26	34	31 (4,2)	13,6
21	FNR	100	25,0	50	55	64	56 (7,1)	12,6
22	FNR	100	37,5	80	76	85	80 (4,5)	5,6
23	FNR	100	50,0	103	108	95	102 (6,6)	6,4
24	FNR	100	75,0	157	160	118	145 (23,4)	16,2
25	SFT	50	0,0	24	25	12	20 (7,2)	35,6
26	SFT	50	2,5	28	19	31	26 (6,2)	24,0
27	SFT	50	5,0	36	34	29	33 (3,6)	10,9
28	SFT	50	12,5	53	46	42	47 (5,6)	11,8
29	SFT	50	25,0	71	70	57	66 (7,8)	11,8
30	SFT	50	37,5	102	91	101	98 (6,1)	6,2
31	SFT	50	50,0	84	106	116	102 (16,4)	16,0
32	SFT	50	75,0	111	152	176	146 (32,9)	22,5
33	SFT	100	0,0	55	48	47	50 (4,4)	8,7
34	SFT	100	2,5	62	51	55	56 (5,6)	9,9
35	SFT	100	5,0	64	62	62	63 (1,2)	1,8
36	SFT	100	12,5	82	68	62	71 (10,3)	14,5
37	SFT	100	25,0	101	94	115	103 (10,7)	10,3
38	SFT	100	37,5	116	105	125	115 (10,0)	8,7
39	SFT	100	50,0	131	119	127	126 (6,1)	4,9
40	SFT	100	75,0	194	189	167	183 (14,4)	7,8

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D17 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de um Vertissolo Hidromórfico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPEL-Pi}				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	6	6	4	5 (1,2) ²	21,7
2	-	0	2,5	5	9	11	8 (3,1)	36,7
3	-	0	5,0	14	10	12	12 (2,0)	16,7
4	-	0	12,5	21	19	16	19 (2,5)	13,5
5	-	0	25,0	34	24	30	29 (5,0)	17,2
6	-	0	37,5	47	37	46	43 (5,5)	12,7
7	-	0	50,0	55	47	52	51 (4,0)	7,9
8	-	0	75,0	77	60	65	67 (8,7)	13,0
9	FNR	50	0,0	9	8	7	8 (1,0)	12,5
10	FNR	50	2,5	10	11	9	10 (1,0)	10,0
11	FNR	50	5,0	11	10	12	11 (1,0)	9,1
12	FNR	50	12,5	16	24	18	19 (4,2)	21,5
13	FNR	50	25,0	31	43	30	35 (7,2)	20,9
14	FNR	50	37,5	35	35	41	37 (3,5)	9,4
15	FNR	50	50,0	53	44	55	51 (5,9)	11,6
16	FNR	50	75,0	71	86	82	80 (7,8)	9,7
17	FNR	100	0,0	7	13	14	11 (3,8)	33,4
18	FNR	100	2,5	17	6	12	12 (5,5)	47,2
19	FNR	100	5,0	6	13	17	12 (5,6)	46,4
20	FNR	100	12,5	21	14	22	19 (4,4)	22,9
21	FNR	100	25,0	37	36	31	35 (3,2)	9,3
22	FNR	100	37,5	49	48	41	46 (4,4)	9,5
23	FNR	100	50,0	74	67	57	66 (8,5)	12,9
24	FNR	100	75,0	85	92	94	90 (4,7)	5,2
25	SFT	50	0,0	21	33	25	26 (6,1)	23,2
26	SFT	50	2,5	34	32	29	32 (2,5)	7,9
27	SFT	50	5,0	34	29	28	30 (3,2)	10,6
28	SFT	50	12,5	43	33	39	38 (5,0)	13,1
29	SFT	50	25,0	45	44	54	48 (5,5)	11,6
30	SFT	50	37,5	55	59	45	53 (7,2)	13,6
31	SFT	50	50,0	59	70	63	64 (5,6)	8,7
32	SFT	50	75,0	80	88	96	88 (8,0)	9,1
33	SFT	100	0,0	38	33	41	37 (4,0)	10,8
34	SFT	100	2,5	46	47	53	49 (3,8)	7,8
35	SFT	100	5,0	49	54	50	51 (2,6)	5,2
36	SFT	100	12,5	54	69	59	61 (7,6)	12,6
37	SFT	100	25,0	62	72	68	67 (5,0)	7,5
38	SFT	100	37,5	68	59	73	67 (7,1)	10,6
39	SFT	100	50,0	89	87	87	88 (1,2)	1,3
40	SFT	100	75,0	129	115	129	124 (8,1)	6,5

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela D18 - Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo método do Papel-Pi, após a adição de doses de fosfogesso e fontes de fósforo em amostras de Neossolo Flúvico

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPÉL-PI}				CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Média	
				mg dm ⁻³				
1	-	0	0,0	17	11	14	14 (3,0) ²	21,4
2	-	0	2,5	13	16	16	15 (1,7)	11,5
3	-	0	5,0	18	17	18	18 (0,6)	3,3
4	-	0	12,5	22	25	29	25 (3,5)	13,9
5	-	0	25,0	36	40	42	39 (3,1)	7,8
6	-	0	37,5	42	52	60	51 (9,0)	17,6
7	-	0	50,0	57	65	74	65 (8,5)	13,0
8	-	0	75,0	81	81	80	81 (0,6)	0,7
9	FNR	50	0,0	16	14	15	15 (1,0)	6,7
10	FNR	50	2,5	15	17	23	18 (4,2)	22,7
11	FNR	50	5,0	21	24	16	20 (4,0)	19,9
12	FNR	50	12,5	32	27	33	31 (3,2)	10,5
13	FNR	50	25,0	41	46	44	44 (2,5)	5,8
14	FNR	50	37,5	57	56	63	59 (3,8)	6,5
15	FNR	50	50,0	67	67	75	70 (4,6)	6,6
16	FNR	50	75,0	113	96	100	103 (8,9)	8,6
17	FNR	100	0,0	16	20	17	18 (2,1)	11,8
18	FNR	100	2,5	19	20	18	19 (1,0)	5,3
19	FNR	100	5,0	26	15	19	20 (5,6)	27,8
20	FNR	100	12,5	29	31	22	27 (4,7)	17,3
21	FNR	100	25,0	43	43	33	40 (5,8)	14,6
22	FNR	100	37,5	61	51	71	61 (10,0)	16,4
23	FNR	100	50,0	74	77	69	73 (4,0)	5,5
24	FNR	100	75,0	133	101	92	109 (21,5)	19,8
25	SFT	50	0,0	35	34	39	36 (2,6)	7,3
26	SFT	50	2,5	42	46	45	44 (2,1)	4,7
27	SFT	50	5,0	56	54	58	56 (2,0)	3,6
28	SFT	50	12,5	60	53	59	57 (3,8)	6,6
29	SFT	50	25,0	74	71	49	65 (13,7)	21,1
30	SFT	50	37,5	83	76	95	85 (9,6)	11,3
31	SFT	50	50,0	92	104	100	99 (6,1)	6,2
32	SFT	50	75,0	124	131	107	121 (12,3)	10,2
33	SFT	100	0,0	90	86	71	82 (10,0)	12,2
34	SFT	100	2,5	85	87	78	83 (4,7)	5,7
35	SFT	100	5,0	82	81	97	87 (9,0)	10,3
36	SFT	100	12,5	88	92	89	90 (2,1)	2,3
37	SFT	100	25,0	100	118	114	111 (9,5)	8,5
38	SFT	100	37,5	124	114	108	115 (8,1)	7,0
39	SFT	100	50,0	129	138	127	131 (5,9)	4,5
40	SFT	100	75,0	126	131	146	134 (10,4)	7,7

¹ FNR: Fosfato Natural Reativo (Arad); SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Apêndice E

Experimento IV: Correlação entre a produção de massa seca ou o acúmulo de fósforo pelo milho e o teor de fósforo no solo em função de doses de fosfogesso

Tabela E1 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a aplicação do fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}				Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D		
				mg dm ⁻³					
1	Test.	0	0,0	23	15	13	17	17 (4,5) ²	26,3
2	Test.	0	0,6	22	20	21	17	20 (2,3)	11,5
3	Test.	0	1,2	23	15	32	22	23 (7,0)	30,7
4	Test.	0	2,5	29	30	19	33	28 (6,0)	21,5
5	Test.	0	5,0	36	24	31	19	28 (7,5)	27,4
6	Test.	0	12,5	34	44	21	26	31 (9,9)	31,6
7	Test.	0	25,0	48	56	48	49	50 (3,9)	7,9
8	Test.	0	50,0	86	79	78	87	82 (4,7)	5,7
9	Test.	0	75,0	94	87	105	93	95 (7,5)	7,9
10	SFT	50	0,0	23	28	20	21	23 (3,8)	16,5
11	SFT	50	0,6	48	19	27	22	29 (13,4)	46,2
12	SFT	50	1,2	17	21	19	24	20 (2,9)	14,4
13	SFT	50	2,5	59	26	23	23	33 (17,7)	54,0
14	SFT	50	5,0	24	31	30	27	28 (3,0)	10,6
15	SFT	50	12,5	34	37	30	34	34 (2,7)	8,1
16	SFT	50	25,0	46	57	52	51	51 (4,7)	9,1
17	SFT	50	50,0	77	81	88	78	81 (4,7)	5,8
18	SFT	50	75,0	92	104	96	107	100 (6,9)	6,9

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;

² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E2 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após a aplicação do superfosfato triplo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{MEHLICH}				Média	CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D		
				mg dm ⁻³					
10	SFT	50	0,0	46	38	42	53	45 (6,6) ²	14,8
11	SFT	50	0,6	56	45	41	50	48 (6,5)	13,6
12	SFT	50	1,2	43	49	46	49	47 (2,8)	5,9
13	SFT	50	2,5	52	49	49	46	49 (2,4)	4,8
14	SFT	50	5,0	45	48	52	47	48 (2,8)	5,8
15	SFT	50	12,5	55	62	58	52	57 (4,2)	7,3
16	SFT	50	25,0	67	73	80	56	69 (10,0)	14,5
17	SFT	50	50,0	105	103	99	100	102 (2,6)	2,5
18	SFT	50	75,0	127	113	131	133	126 (8,9)	7,0

¹ SFT: Superfosfato Triplo;

² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E3 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após o primeiro cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P	Fosfogesso	P _{MEHLICH}					CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%	
1	Test.	0	0,0	14	15	14	14	14 (0,6) ¹²	4,0
2	Test.	0	0,6	17	14	16	14	15 (1,3)	8,6
3	Test.	0	1,2	14	22	17	14	17 (3,8)	23,1
4	Test.	0	2,5	19	21	17	24	20 (3,2)	15,7
5	Test.	0	5,0	26	18	22	29	23 (4,9)	20,7
6	Test.	0	12,5	19	26	27	31	26 (4,9)	18,9
7	Test.	0	25,0	43	41	32	31	37 (6,2)	16,9
8	Test.	0	50,0	64	56	66	65	63 (4,9)	7,7
9	Test.	0	75,0	85	85	79	86	84 (3,1)	3,7
10	SFT	50	0,0	22	21	22	21	22 (0,8)	3,6
11	SFT	50	0,6	24	21	21	22	22 (1,6)	7,3
12	SFT	50	1,2	21	19	19	18	19 (1,6)	8,3
13	SFT	50	2,5	22	23	18	23	21 (2,4)	11,1
14	SFT	50	5,0	26	22	25	23	24 (1,6)	6,8
15	SFT	50	12,5	28	29	35	22	29 (5,0)	17,6
16	SFT	50	25,0	43	46	39	41	42 (2,9)	7,0
17	SFT	50	50,0	70	77	82	77	76 (4,9)	6,5
18	SFT	50	75,0	105	94	96	89	96 (6,8)	7,1

¹¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E4 – Dados originais para a variável P disponível, avaliado pelo extrator Mehlich, após o segundo cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹¹	Dose de P	Fosfogesso	P _{MEHLICH}					CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%	
1	Test.	0	0,0	13	10	14	13	12 (1,9) ¹²	15,1
2	Test.	0	0,6	12	11	15	11	12 (1,8)	14,9
3	Test.	0	1,2	10	13	14	11	12 (1,8)	15,0
4	Test.	0	2,5	10	11	15	22	14 (5,7)	39,5
5	Test.	0	5,0	14	14	13	11	13 (1,6)	12,4
6	Test.	0	12,5	14	15	15	11	13 (1,8)	13,4
7	Test.	0	25,0	23	27	18	24	23 (3,8)	16,6
8	Test.	0	50,0	45	51	56	53	52 (4,7)	9,1
9	Test.	0	75,0	72	71	73	72	72 (1,0)	1,3
10	SFT	50	0,0	16	16	16	19	17 (1,3)	7,5
11	SFT	50	0,6	19	20	17	20	19 (1,5)	7,7
12	SFT	50	1,2	15	17	16	22	17 (3,0)	17,1
13	SFT	50	2,5	19	19	19	24	20 (2,8)	13,8
14	SFT	50	5,0	19	19	20	21	20 (1,1)	5,8
15	SFT	50	12,5	26	27	28	25	26 (1,3)	4,8
16	SFT	50	25,0	37	37	32	32	34 (2,9)	8,5
17	SFT	50	50,0	56	55	55	74	60 (9,8)	16,3
18	SFT	50	75,0	85	97	79	73	84 (10,1)	12,1

¹¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;¹² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E5 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método da Resina de troca iônica, após a aplicação do fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P _{RESINA}				Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D		
				mg dm ⁻³					
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						%
1	Test.	0	0,0	17	13	11	12	13 (2,5) ²	19,1
2	Test.	0	0,6	15	15	18	15	15 (1,6)	10,6
3	Test.	0	1,2	15	12	15	17	15 (2,2)	14,8
4	Test.	0	2,5	22	18	19	16	19 (2,2)	11,9
5	Test.	0	5,0	28	18	22	15	21 (5,6)	26,9
6	Test.	0	12,5	32	31	33	25	30 (3,6)	12,0
7	Test.	0	25,0	31	27	28	25	28 (2,3)	8,1
8	Test.	0	50,0	17	13	9	11	13 (3,4)	26,8
9	Test.	0	75,0	8	6	7	6	7 (0,8)	12,0
10	SFT	50	0,0	15	16	19	15	16 (1,9)	11,9
11	SFT	50	0,6	20	20	17	15	18 (2,7)	14,8
12	SFT	50	1,2	14	16	20	19	17 (2,6)	15,1
13	SFT	50	2,5	17	18	20	17	18 (1,1)	6,2
14	SFT	50	5,0	20	20	18	21	20 (1,3)	6,5
15	SFT	50	12,5	31	29	27	26	28 (1,9)	6,8
16	SFT	50	25,0	33	33	28	32	31 (2,6)	8,2
17	SFT	50	50,0	23	22	21	12	19 (5,0)	25,9
18	SFT	50	75,0	8	11	7	16	10 (4,0)	38,9

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E6 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método da Resina de troca iônica, após a aplicação do superfosfato triplo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P _{RESINA}				Média	CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D		
				mg dm ⁻³					
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						%
10	SFT	50	0,0	43	42	43	44	43 (0,7) ²	1,6
11	SFT	50	0,6	53	57	42	50	50 (6,5)	13,0
12	SFT	50	1,2	51	49	47	45	48 (2,8)	5,8
13	SFT	50	2,5	56	47	50	39	48 (7,0)	14,5
14	SFT	50	5,0	51	48	53	49	50 (2,4)	4,7
15	SFT	50	12,5	65	56	54	51	57 (6,1)	10,8
16	SFT	50	25,0	64	57	57	50	57 (5,5)	9,7
17	SFT	50	50,0	41	36	29	24	32 (7,7)	23,6
18	SFT	50	75,0	19	14	14	15	15 (2,5)	16,4

¹ SFT: Superfosfato Triplo;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E7 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método da Resina de troca iônica, após o primeiro cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}					CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
				mg dm ⁻³					
1	Test.	0	0,0	15	12	13	13	13 (1,1) ²	8,6
2	Test.	0	0,6	12	14	15	14	14 (1,2)	8,6
3	Test.	0	1,2	12	16	11	13	13 (2,4)	18,2
4	Test.	0	2,5	17	15	15	15	16 (0,9)	5,8
5	Test.	0	5,0	17	12	16	15	15 (2,3)	14,9
6	Test.	0	12,5	21	26	15	15	19 (5,2)	26,7
7	Test.	0	25,0	24	27	19	31	25 (5,0)	19,9
8	Test.	0	50,0	21	26	17	22	21 (3,8)	17,5
9	Test.	0	75,0	16	16	27	12	18 (6,6)	37,4
10	SFT	50	0,0	29	29	24	29	28 (2,7)	9,8
11	SFT	50	0,6	25	30	28	29	28 (2,3)	8,1
12	SFT	50	1,2	26	26	22	29	26 (2,9)	11,2
13	SFT	50	2,5	28	29	30	29	29 (0,9)	3,2
14	SFT	50	5,0	30	30	31	33	31 (1,4)	4,5
15	SFT	50	12,5	41	38	37	41	39 (2,1)	5,4
16	SFT	50	25,0	36	46	24	50	39 (11,7)	30,0
17	SFT	50	50,0	22	21	28	24	24 (3,2)	13,4
18	SFT	50	75,0	14	25	26	13	19 (6,9)	35,7

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E8 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método da Resina de troca iônica, após o segundo cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{RESINA}					CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
				mg dm ⁻³					
1	Test.	0	0,0	8	8	10	8	8 (1,2) ²	13,9
2	Test.	0	0,6	9	8	9	9	9 (0,7)	7,4
3	Test.	0	1,2	8	12	10	10	10 (1,6)	17,0
4	Test.	0	2,5	10	10	8	15	11 (3,2)	30,2
5	Test.	0	5,0	11	9	8	9	9 (1,0)	11,3
6	Test.	0	12,5	12	12	14	10	12 (1,8)	15,2
7	Test.	0	25,0	21	26	17	22	21 (3,8)	17,5
8	Test.	0	50,0	18	13	17	20	17 (2,9)	17,2
9	Test.	0	75,0	8	9	9	16	10 (3,6)	34,6
10	SFT	50	0,0	12	12	16	19	15 (3,4)	22,9
11	SFT	50	0,6	14	20	13	19	16 (3,6)	22,1
12	SFT	50	1,2	13	12	15	17	14 (2,2)	15,8
13	SFT	50	2,5	19	15	13	19	16 (3,4)	20,6
14	SFT	50	5,0	16	20	17	25	19 (4,0)	20,9
15	SFT	50	12,5	24	25	30	23	26 (2,9)	11,3
16	SFT	50	25,0	34	34	31	26	31 (3,6)	11,5
17	SFT	50	50,0	27	15	14	29	21 (7,7)	37,0
18	SFT	50	75,0	22	14	11	22	17 (5,5)	31,9

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E9 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método do Papel-Pi, após a aplicação do fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P PAPEL-Pi					CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%	
1	Test.	0	0,0	11	8	6	9	9 (2,1) ²	24,5
2	Test.	0	0,6	12	3	11	17	11 (5,8)	53,9
3	Test.	0	1,2	13	7	8	7	9 (2,9)	32,8
4	Test.	0	2,5	11	13	9	10	11 (1,7)	15,9
5	Test.	0	5,0	14	15	13	10	13 (2,2)	16,6
6	Test.	0	12,5	19	20	24	18	20 (2,6)	13,0
7	Test.	0	25,0	34	40	24	36	34 (6,8)	20,3
8	Test.	0	50,0	56	63	39	61	55 (10,9)	19,9
9	Test.	0	75,0	80	68	96	70	79 (12,8)	16,3
10	SFT	50	0,0	11	11	9	10	10 (1,0)	9,3
11	SFT	50	0,6	6	11	10	7	9 (2,4)	28,0
12	SFT	50	1,2	7	9	9	10	9 (1,3)	14,4
13	SFT	50	2,5	9	12	11	9	10 (1,5)	14,6
14	SFT	50	5,0	12	15	11	13	13 (1,7)	13,4
15	SFT	50	12,5	15	18	21	19	18 (2,5)	13,7
16	SFT	50	25,0	31	34	25	33	31 (4,0)	13,1
17	SFT	50	50,0	59	65	62	59	61 (2,9)	4,7
18	SFT	50	75,0	94	92	83	101	93 (7,4)	8,0

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E10 – Dados originais para a variável P disponível avaliado, pelo método do Papel-Pi, após a aplicação do superfosfato triplo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P PAPEL-Pi					CV
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%	
10	SFT	50	0,0	23	31	31	27	28 (3,8) ²	13,7
11	SFT	50	0,6	28	15	18	19	20 (5,6)	28,0
12	SFT	50	1,2	29	32	30	21	28 (4,8)	17,3
13	SFT	50	2,5	24	35	35	22	29 (7,0)	24,1
14	SFT	50	5,0	37	36	43	25	35 (7,5)	21,3
15	SFT	50	12,5	32	37	41	22	33 (8,2)	24,9
16	SFT	50	25,0	52	49	52	32	46 (9,6)	20,8
17	SFT	50	50,0	81	77	54	73	71 (12,0)	16,8
18	SFT	50	75,0	109	92	112	91	101 (11,0)	10,9

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E11 – Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo método do Papel-Pi, após o primeiro cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPEL-Pi}					CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
				mg dm ⁻³					
1	Test.	0	0,0	5	3	5	6	5 (1,3) ²	26,5
2	Test.	0	0,6	3	4	2	3	3 (0,8)	27,2
3	Test.	0	1,2	7	6	6	8	7 (1,0)	14,2
4	Test.	0	2,5	11	12	13	9	11 (1,7)	15,2
5	Test.	0	5,0	16	15	18	16	16 (1,3)	7,7
6	Test.	0	12,5	19	20	18	21	20 (1,3)	6,6
7	Test.	0	25,0	23	22	28	26	25 (2,8)	11,1
8	Test.	0	50,0	48	36	40	45	42 (5,3)	12,6
9	Test.	0	75,0	71	59	68	62	65 (5,5)	8,4
10	SFT	50	0,0	5	9	8	10	8 (2,2)	27,0
11	SFT	50	0,6	8	8	8	13	9 (2,5)	27,0
12	SFT	50	1,2	7	10	13	16	12 (3,9)	33,7
13	SFT	50	2,5	10	9	14	19	13 (4,5)	35,0
14	SFT	50	5,0	11	16	13	11	13 (2,4)	18,5
15	SFT	50	12,5	19	15	16	19	17 (2,1)	12,0
16	SFT	50	25,0	24	34	20	22	25 (6,2)	24,9
17	SFT	50	50,0	54	52	55	53	54 (1,3)	2,4
18	SFT	50	75,0	88	87	82	79	84 (4,2)	5,1

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E12 – Dados originais para a variável P disponível avaliado pelo método do Papel-Pi, após o segundo cultivo de milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	P _{PAPEL-Pi}					CV %
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média	
				mg dm ⁻³					
1	Test.	0	0,0	4	2	3	5	4 (1,3) ²	36,9
2	Test.	0	0,6	2	3	4	2	3 (1,0)	34,8
3	Test.	0	1,2	5	2	4	6	4 (1,7)	40,2
4	Test.	0	2,5	14	9	8	7	10 (3,1)	32,7
5	Test.	0	5,0	9	8	10	11	10 (1,3)	13,6
6	Test.	0	12,5	4	12	13	14	11 (4,6)	42,5
7	Test.	0	25,0	16	8	10	18	13 (4,8)	36,6
8	Test.	0	50,0	31	21	28	21	25 (5,1)	20,0
9	Test.	0	75,0	55	58	50	51	54 (3,7)	6,9
10	SFT	50	0,0	5	3	7	8	6 (2,2)	38,6
11	SFT	50	0,6	13	8	6	9	9 (2,9)	32,7
12	SFT	50	1,2	9	11	12	9	10 (1,5)	14,6
13	SFT	50	2,5	10	9	11	12	11 (1,3)	12,3
14	SFT	50	5,0	12	17	18	14	15 (2,8)	18,1
15	SFT	50	12,5	16	20	11	16	16 (3,7)	23,4
16	SFT	50	25,0	16	13	27	22	20 (6,2)	32,0
17	SFT	50	50,0	36	53	45	41	44 (7,2)	16,4
18	SFT	50	75,0	75	73	88	65	75 (9,5)	12,7

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E13 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após a aplicação do fosfogesso

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	pH				Média	CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A		
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹					
1	Test.	0	0,0	5,46	5,45	5,34	5,28	5,38 (0,09) ²	1,6
2	Test.	0	0,6	5,43	5,36	5,13	5,13	5,26 (0,16)	3,0
3	Test.	0	1,2	5,36	5,21	5,08	5,23	5,22 (0,11)	2,2
4	Test.	0	2,5	5,36	5,14	4,92	5,08	5,13 (0,18)	3,6
5	Test.	0	5,0	5,40	5,05	5,11	5,04	5,15 (0,17)	3,3
6	Test.	0	12,5	5,31	5,51	5,32	5,47	5,40 (0,10)	1,9
7	Test.	0	25,0	5,37	5,39	5,36	5,48	5,40 (0,05)	1,0
8	Test.	0	50,0	5,15	5,25	5,25	5,30	5,24 (0,06)	1,2
9	Test.	0	75,0	5,28	5,43	5,43	5,41	5,39 (0,07)	1,3
10	SFT	50	0,0	5,30	5,52	5,41	5,29	5,38 (0,11)	2,0
11	SFT	50	0,6	5,42	5,26	5,30	5,34	5,33 (0,07)	1,3
12	SFT	50	1,2	5,25	5,22	5,22	5,18	5,22 (0,03)	0,6
13	SFT	50	2,5	5,36	5,33	5,38	5,36	5,36 (0,02)	0,4
14	SFT	50	5,0	5,27	5,33	5,39	5,07	5,27 (0,14)	2,6
15	SFT	50	12,5	5,20	5,41	5,41	5,36	5,35 (0,10)	1,9
16	SFT	50	25,0	4,79	4,90	4,97	4,94	4,90 (0,08)	1,6
17	SFT	50	50,0	4,98	5,07	5,11	5,13	5,07 (0,07)	1,3
18	SFT	50	75,0	5,08	5,21	5,33	5,21	5,21 (0,10)	2,0

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;Tabela E14 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após a aplicação do superfosfato triplo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	pH				Média	CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A		
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹					
10	SFT	50	0,0	5,17	5,16	5,17	5,13	5,16 (0,02) ²	0,4
11	SFT	50	0,6	5,09	5,12	5,16	5,07	5,11 (0,04)	0,8
12	SFT	50	1,2	5,01	4,92	5,00	5,01	4,99 (0,04)	0,9
13	SFT	50	2,5	4,89	4,79	4,87	4,92	4,87 (0,06)	1,1
14	SFT	50	5,0	5,18	5,20	5,29	5,10	5,19 (0,08)	1,5
15	SFT	50	12,5	5,22	5,19	5,19	5,16	5,19 (0,02)	0,5
16	SFT	50	25,0	5,16	5,00	5,00	5,09	5,06 (0,08)	1,5
17	SFT	50	50,0	5,30	5,25	5,21	5,11	5,22 (0,08)	1,5
18	SFT	50	75,0	5,08	5,17	5,13	5,02	5,10 (0,06)	1,3

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E15 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após o primeiro cultivo do milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	pH					CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹					
1	Test.	0	0,0	4,75	4,56	4,67	4,89	4,72 (0,14) ²	2,9
2	Test.	0	0,6	4,79	4,93	4,89	4,64	4,81 (0,13)	2,7
3	Test.	0	1,2	4,69	4,43	4,50	4,81	4,61 (0,17)	3,8
4	Test.	0	2,5	4,61	4,87	5,09	4,67	4,81 (0,22)	4,5
5	Test.	0	5,0	4,86	4,59	4,69	4,66	4,70 (0,11)	2,4
6	Test.	0	12,5	4,80	4,58	4,65	4,63	4,67 (0,09)	2,0
7	Test.	0	25,0	4,76	4,69	4,62	4,72	4,70 (0,06)	1,3
8	Test.	0	50,0	4,75	4,77	4,96	5,04	4,88 (0,14)	2,9
9	Test.	0	75,0	4,93	4,96	5,01	5,08	5,00 (0,07)	1,3
10	SFT	50	0,0	4,74	4,75	4,56	4,61	4,67 (0,09)	2,0
11	SFT	50	0,6	4,38	4,56	4,65	4,65	4,56 (0,13)	2,8
12	SFT	50	1,2	4,46	4,49	4,32	4,56	4,46 (0,10)	2,3
13	SFT	50	2,5	4,61	4,54	4,53	4,50	4,55 (0,05)	1,0
14	SFT	50	5,0	4,55	4,62	4,55	4,48	4,55 (0,06)	1,3
15	SFT	50	12,5	4,62	4,65	4,60	4,61	4,62 (0,02)	0,5
16	SFT	50	25,0	4,71	4,78	4,74	4,66	4,72 (0,05)	1,1
17	SFT	50	50,0	4,71	4,79	4,77	4,73	4,75 (0,04)	0,8
18	SFT	50	75,0	4,74	4,90	5,07	4,71	4,86 (0,17)	3,4

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;Tabela E16 – Dados originais para a variável pH em cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) após o segundo cultivo do milho

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	pH					CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
				CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹					
1	Test.	0	0,0	4,26	4,13	4,09	4,21	4,17 (0,08) ²	1,8
2	Test.	0	0,6	4,87	4,33	4,50	4,55	4,56 (0,23)	4,9
3	Test.	0	1,2	4,20	4,01	4,36	4,32	4,22 (0,16)	3,7
4	Test.	0	2,5	4,32	4,31	4,23	4,33	4,30 (0,05)	1,1
5	Test.	0	5,0	4,37	4,38	4,22	4,36	4,33 (0,08)	1,7
6	Test.	0	12,5	4,53	4,79	4,33	4,49	4,54 (0,19)	4,2
7	Test.	0	25,0	4,51	4,61	5,00	4,69	4,70 (0,21)	4,5
8	Test.	0	50,0	4,67	4,83	4,95	4,78	4,81 (0,12)	2,4
9	Test.	0	75,0	4,84	4,97	4,79	4,83	4,86 (0,08)	1,6
10	SFT	50	0,0	4,15	4,21	4,14	4,18	4,17 (0,03)	0,8
11	SFT	50	0,6	4,32	4,18	4,21	4,26	4,24 (0,06)	1,4
12	SFT	50	1,2	4,36	4,09	4,28	4,21	4,24 (0,11)	2,7
13	SFT	50	2,5	4,69	4,20	4,55	4,52	4,49 (0,21)	4,6
14	SFT	50	5,0	4,51	4,14	4,38	4,39	4,36 (0,16)	3,6
15	SFT	50	12,5	4,58	4,53	4,43	4,49	4,51 (0,06)	1,4
16	SFT	50	25,0	4,46	4,74	4,69	4,65	4,64 (0,12)	2,6
17	SFT	50	50,0	4,73	4,68	4,71	4,69	4,70 (0,02)	0,5
18	SFT	50	75,0	5,19	5,14	4,82	4,99	5,04 (0,17)	3,3

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E17 – Dados originais para a variável produção de massa seca de parte aérea de milho – primeiro ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	Massa Seca					CV
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g / vaso				%	
1	Test.	0	0,0	29,3	25,2	18,5	19,8	23,2 (5,0) ²	21,5
2	Test.	0	0,6	30,6	41,0	27,4	39,6	34,7 (6,7)	19,3
3	Test.	0	1,2	27,9	37,6	31,7	31,0	32,0 (4,0)	12,6
4	Test.	0	2,5	40,5	32,9	24,2	31,5	32,3 (6,7)	20,6
5	Test.	0	5,0	35,7	32,5	32,0	34,6	33,7 (1,7)	5,1
6	Test.	0	12,5	55,5	52,7	47,9	30,3	46,6 (11,3)	24,3
7	Test.	0	25,0	66,2	45,2	54,8	51,5	54,4 (8,8)	16,2
8	Test.	0	50,0	44,6	24,6	33,2	20,4	30,7 (10,7)	34,8
9	Test.	0	75,0	21,6	22,4	31,2	21,1	24,1 (4,8)	19,9
10	SFT	50	0,0	54,0	62,8	62,8	68,7	62,1 (6,1)	9,8
11	SFT	50	0,6	61,8	59,8	62,2	65,0	62,2 (2,1)	3,4
12	SFT	50	1,2	68,7	73,5	71,0	61,9	68,8 (5,0)	7,3
13	SFT	50	2,5	65,6	65,7	55,7	70,0	64,3 (6,0)	9,4
14	SFT	50	5,0	69,2	63,3	74,5	68,1	68,8 (4,6)	6,7
15	SFT	50	12,5	70,5	64,5	61,4	66,0	65,6 (3,8)	5,8
16	SFT	50	25,0	71,2	71,2	78,0	71,9	73,1 (3,3)	4,5
17	SFT	50	50,0	68,8	65,5	61,6	62,7	64,6 (3,2)	5,0
18	SFT	50	75,0	76,0	52,4	49,1	65,5	60,8 (12,4)	20,4

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E18 – Dados originais para a variável produção de massa seca de parte aérea de milho – segundo ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	Massa Seca					CV
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g / vaso				%	
1	Test.	0	0,0	36,1	37,7	31,5	35,1	35,1 (2,6) ²	7,4
2	Test.	0	0,6	29,6	39,1	30,9	36,6	34,0 (4,5)	13,3
3	Test.	0	1,2	33,9	38,6	32,5	36,7	35,4 (2,7)	7,7
4	Test.	0	2,5	43,9	41,2	29,5	44,2	39,7 (6,9)	17,4
5	Test.	0	5,0	41,8	46,4	45,8	38,6	43,2 (3,7)	8,5
6	Test.	0	12,5	48,9	54,3	40,7	45,0	47,2 (5,8)	12,3
7	Test.	0	25,0	55,6	48,3	50,1	51,7	51,4 (3,1)	6,1
8	Test.	0	50,0	40,5	36,5	46,7	45,3	42,3 (4,6)	11,0
9	Test.	0	75,0	49,6	43,2	43,3	39,7	43,9 (4,1)	9,4
10	SFT	50	0,0	55,1	48,9	46,3	47,9	49,5 (3,8)	7,8
11	SFT	50	0,6	53,4	51,6	51,5	52,7	52,3 (0,9)	1,7
12	SFT	50	1,2	51,4	55,1	53,4	51,6	52,9 (1,7)	3,3
13	SFT	50	2,5	54,2	57,5	54,2	54,1	55,0 (1,6)	3,0
14	SFT	50	5,0	56,5	54,2	49,9	56,3	54,2 (3,0)	5,6
15	SFT	50	12,5	58,9	57,8	51,6	53,5	55,4 (3,5)	6,3
16	SFT	50	25,0	56,3	55,5	51,2	58,2	55,3 (2,9)	5,3
17	SFT	50	50,0	57,1	52,1	54,3	50,6	53,5 (2,8)	5,3
18	SFT	50	75,0	49,8	39,9	44,9	53,8	47,1 (6,0)	12,7

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E19 – Dados originais para a variável concentração de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do milho no primeiro ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	Concentração de P (MSPA)					CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
1	Test.	0	0,0	0,6	0,9	1,0	0,9	0,9 (0,18) ²	20,8
2	Test.	0	0,6	1,3	0,6	1,0	0,9	0,9 (0,28)	30,4
3	Test.	0	1,2	0,9	1,6	1,0	0,7	1,0 (0,37)	35,2
4	Test.	0	2,5	0,6	1,0	1,0	1,3	1,0 (0,28)	28,9
5	Test.	0	5,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1 (0,05)	4,3
6	Test.	0	12,5	0,9	1,0	1,4	1,2	1,1 (0,21)	18,7
7	Test.	0	25,0	1,1	1,6	1,1	1,2	1,2 (0,23)	18,7
8	Test.	0	50,0	2,2	1,3	1,5	1,9	1,7 (0,41)	23,9
9	Test.	0	75,0	1,8	1,6	1,9	1,9	1,8 (0,14)	7,6
10	SFT	50	0,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1 (0,21)	18,7
11	SFT	50	0,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,1 (0,15)	13,8
12	SFT	50	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1	1,2 (0,11)	9,3
13	SFT	50	2,5	1,3	1,1	1,2	1,1	1,2 (0,09)	7,7
14	SFT	50	5,0	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3 (0,15)	11,6
15	SFT	50	12,5	1,4	0,8	1,4	0,8	1,1 (0,36)	33,0
16	SFT	50	25,0	0,8	1,5	1,3	1,3	1,2 (0,29)	23,3
17	SFT	50	50,0	1,6	1,6	1,5	1,4	1,5 (0,09)	5,9
18	SFT	50	75,0	1,9	2,1	1,4	1,4	1,7 (0,34)	19,8

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E20 – Dados originais para a variável concentração de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do milho no segundo ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P mg kg ⁻¹	Fosfogesso g kg ⁻¹	Concentração de P (MSPA)					CV %
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Média	
1	Test.	0	0,0	0,6	0,9	1,0	0,9	0,9 (0,18) ²	20,8
2	Test.	0	0,6	1,3	0,6	1,0	0,9	0,9 (0,28)	30,4
3	Test.	0	1,2	0,9	1,6	1,0	0,7	1,0 (0,37)	35,2
4	Test.	0	2,5	0,6	1,0	1,0	1,3	1,0 (0,28)	28,9
5	Test.	0	5,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1 (0,05)	4,3
6	Test.	0	12,5	0,9	1,0	1,4	1,2	1,1 (0,21)	18,7
7	Test.	0	25,0	1,1	1,6	1,1	1,2	1,2 (0,23)	18,7
8	Test.	0	50,0	2,2	1,3	1,5	1,9	1,7 (0,41)	23,9
9	Test.	0	75,0	1,8	1,6	1,9	1,9	1,8 (0,14)	7,6
10	SFT	50	0,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1 (0,21)	18,7
11	SFT	50	0,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,1 (0,15)	13,8
12	SFT	50	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1	1,2 (0,11)	9,3
13	SFT	50	2,5	1,3	1,1	1,2	1,1	1,2 (0,09)	7,7
14	SFT	50	5,0	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3 (0,15)	11,6
15	SFT	50	12,5	1,4	0,8	1,4	0,8	1,1 (0,36)	33,0
16	SFT	50	25,0	0,8	1,5	1,3	1,3	1,2 (0,29)	23,3
17	SFT	50	50,0	1,6	1,6	1,5	1,4	1,5 (0,09)	5,9
18	SFT	50	75,0	1,9	2,1	1,4	1,4	1,7 (0,34)	19,8

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E21 – Dados originais para a variável P acumulado na massa seca de parte aérea de milho no primeiro ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P acumulado na MSPA					CV
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	
				mg / vaso					
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						
1	Test.	0	0,0	29,3	22,7	20,4	23,4	24,0 (3,8) ²	15,9
2	Test.	0	0,6	28,4	53,3	26,7	34,8	35,8 (12,2)	34,0
3	Test.	0	1,2	27,6	36,7	30,9	27,6	30,7 (4,3)	13,9
4	Test.	0	2,5	37,5	30,5	23,0	30,0	30,2 (5,9)	19,5
5	Test.	0	5,0	34,4	28,9	29,7	27,8	30,2 (2,9)	9,5
6	Test.	0	12,5	62,3	45,6	45,5	25,1	44,6 (15,2)	34,1
7	Test.	0	25,0	57,3	44,1	50,1	48,4	50,0 (5,5)	11,0
8	Test.	0	50,0	44,1	22,2	41,4	17,4	31,3 (13,4)	42,9
9	Test.	0	75,0	21,1	19,6	36,6	23,0	25,1 (7,8)	31,1
10	SFT	50	0,0	73,9	67,5	78,3	62,9	70,6 (6,8)	9,6
11	SFT	50	0,6	73,1	72,3	77,5	70,6	73,4 (2,9)	4,0
12	SFT	50	1,2	69,6	81,7	84,9	74,0	77,6 (7,0)	9,0
13	SFT	50	2,5	76,9	80,2	69,4	70,0	74,1 (5,3)	7,2
14	SFT	50	5,0	83,7	74,1	74,6	102,1	83,6 (13,1)	15,6
15	SFT	50	12,5	78,3	65,4	68,9	70,1	70,7 (5,5)	7,7
16	SFT	50	25,0	71,2	75,6	95,2	74,6	79,2 (10,9)	13,7
17	SFT	50	50,0	84,8	86,4	76,0	78,1	81,3 (5,1)	6,2
18	SFT	50	75,0	91,9	79,4	61,8	91,2	81,1 (14,1)	17,4

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela E22 – Dados originais para a variável P acumulado na massa seca de parte aérea de milho no primeiro ciclo

Tratamento	Fonte de P ¹	Dose de P	Fosfogesso	P acumulado na MSPA					CV
				Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	Rep. A	
				mg / vaso					
		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						
1	Test.	0	0,0	21,6	33,8	31,9	32,1	29,8 (5,5) ²	18,6
2	Test.	0	0,6	37,7	23,4	31,3	31,2	30,9 (5,9)	19,0
3	Test.	0	1,2	31,6	60,5	31,2	26,2	37,4 (15,6)	41,7
4	Test.	0	2,5	27,1	39,5	28,7	57,2	38,1 (13,9)	36,4
5	Test.	0	5,0	44,4	47,9	50,9	43,8	46,7 (3,3)	7,1
6	Test.	0	12,5	45,3	52,0	55,4	54,6	51,8 (4,6)	8,8
7	Test.	0	25,0	62,8	76,6	53,2	63,1	63,9 (9,6)	15,1
8	Test.	0	50,0	89,6	46,4	71,3	85,7	73,3 (19,6)	26,7
9	Test.	0	75,0	91,1	69,4	80,8	75,8	79,3 (9,1)	11,5
10	SFT	50	0,0	67,9	67,5	41,5	49,7	56,6 (13,2)	23,3
11	SFT	50	0,6	71,3	57,3	53,4	52,1	58,5 (8,8)	15,0
12	SFT	50	1,2	54,0	71,6	62,5	57,0	61,3 (7,8)	12,7
13	SFT	50	2,5	69,4	63,8	63,8	58,5	63,9 (4,5)	7,0
14	SFT	50	5,0	73,4	63,8	73,7	64,9	69,0 (5,3)	7,7
15	SFT	50	12,5	82,7	44,8	71,4	41,5	60,1 (20,2)	33,6
16	SFT	50	25,0	47,4	85,0	65,9	76,0	68,6 (16,1)	23,5
17	SFT	50	50,0	89,6	83,4	83,8	70,7	81,9 (8,0)	9,8
18	SFT	50	75,0	93,3	83,8	63,9	76,8	79,4 (12,4)	15,6

¹ SFT: Superfosfato Triplo; Test: testemunha, sem aplicação de P;² Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)