

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

**Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes
capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**

Gean Carlos Silva Matias

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

**Piracicaba
2010**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Gean Carlos Silva Matias
Engenheiro Agrônomo

Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CÉSAR VITTI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2010**

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

Matias, Gean Carlos Silva

Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica. - - Piracicaba, 2010.
174 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Adsorção 2. Fertilizantes fosfatados 3. Húmus 4. Matéria orgânica do solo 5. Solos
Título

CDD 631.41
M433e

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

A Deus a razão da nossa existência.

OFEREÇO

*Aos meus pais, Walter e Juracy,
pelos ensinamentos e exemplo de vida.*

*Aos meus irmãos, Reginaldo, Edcarlos e Kênia Cíntia, pelo apoio
em todos os momentos.*

*A minha amada esposa Fabianne, pelo carinho, paciência e
incentivo nos momentos mais difíceis.*

Ao meu grande amigo e cunhado Paulo Ricardo “in memoriam”.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo por meio do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Godofredo César Vitti, por sua amizade e companheirismo, sempre disposto a colaborar com seus ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Luis Ignácio Prochnow pela convivência, amizade, profissionalismo e contribuição na execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À Comissão de Pós-Graduação do curso de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP pela oportunidade concedida.

À Empresa Agrolatino Indústria e Comércio de Adubos e Fertilizantes LTDA, pelo fornecimento da turfa e condicionador orgânico de solo.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas Luiz Silva e Lara, pelo auxílio nas análises de laboratório durante o desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Fernando Baldesin, Silvia, Marta, Vanda, Martinha, Juliana, Elisangela, Nancy, Marcos, Moisés, Anderson, Leandro, João, Dorival, Chico, Juruna, e todos aqueles que de uma forma ou de outra sempre contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos do curso de pós-graduação Rodrigo Coqui, Raphael, Alexandre, Rodney, João Luis, Flávio, Ingid, Fabrício, Gabriel, Rodrigo Czcza, Gabriel Barth, Adilson, Anderson, Josiane, Roberta, Luiza, Sabrina, Joice, Vanda e Márcia, Agradeço pelos momentos de alegria, amizade e convivência.

Agradeço e compartilho o mérito desta com todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
Referências.....	18
2 EFEITO DA APLICAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E MATÉRIA ORGÂNICA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS.....	23
Resumo	23
Abstract.....	24
2.1 Introdução	24
2.2 Desenvolvimento	27
2.2.1 Material e Métodos	27
2.2.1.1 Caracterização do solo	27
2.2.1.2 Caracterização das fontes de fósforo	28
2.2.1.3 Caracterização das fontes de ácidos orgânicos.....	29
2.3 Análise dos dados	34
2.4 Resultados e Discussões	35
2.5 Conclusões.....	56
Referências.....	56
3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO EM SOLOS COM DIFERENTES CAPACIDADES DE ADSORÇÃO E ADIÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA .	63
Resumo	63
Abstract.....	63
3.1 Introdução	64
3.2 Desenvolvimento	66
3.2.1 Material e Métodos	66
3.2.2 Análise dos dados	67
3.3 Resultados e discussão.....	68
3.4 Conclusões.....	88
Referências.....	88

4	EFEITO DA ADIÇÃO DE FONTES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO.....	93
	Resumo.....	93
	Abstract	93
4.1	Introdução.....	94
4.2	Desenvolvimento.....	96
4.2.1	Material e Métodos.....	96
4.2.4	Análise dos dados.....	97
4.3	Resultados e discussão	97
4.4	Conclusões.....	109
	Referências	109
5	EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO E FORMAS DE APLICAÇÃO NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO.	111
	Resumo.....	111
	Abstract	111
5.1	Introdução.....	112
5.2	Desenvolvimento.....	113
5.2.1	Material e Métodos.....	113
5.2.4	Análise dos dados.....	114
5.3	Resultados e discussão	115
5.4	Conclusões.....	126
	Referências	126
	APÊNDICES	129

RESUMO

Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica

Os solos tropicais altamente intemperizados apresentam elevada capacidade de adsorção de fósforo. Vários fatores podem influenciar a adsorção de P nestes solos, dentre eles destaca-se o teor de matéria orgânica. Os mecanismos envolvidos neste processo estão relacionados à liberação de ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica, podendo ser de baixa massa molecular tais como, malato, oxalato ou citrato, ou de elevada massa molecular como ácidos húmicos e fúlvicos, que atuam na complexação do Fe ou Al em solução ou na superfície dos colóides, que por meio de troca de ligantes reduz assim a adsorção de P. O presente trabalho constou de quatro estudos, ambos realizados em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, tendo como objetivos: (i) verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas, na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção. Os tratamentos compreenderam 2 tipos de solo (Latosolo vermelho amarelo - LVA e LV), 2 fontes de P (Fosfato monocálcico - FMC p.a. e Fosfato natural reativo de Arad - FNR), 2 fontes de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM (ácido cítrico - AC e ácido oxálico - AO), 2 fontes de substâncias húmicas (condicionador orgânico de solo - CO e turfa -TF)). As doses de AOBM foram de 0, 2, 4 e 8 mmol kg⁻¹ e CO de 0, 150, 300, 600 L ha⁻¹ e de TF 0, 20, 40, e 80 t ha⁻¹; (ii) avaliar a eficiência agrônômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em água, com e sem adição de matéria orgânica. Os tratamentos constaram de 2 tipos de solo (LVA e LV), 2 fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo - FNR), 3 doses de P (0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P) e 3 doses de turfa - TF, correspondendo a 0, 25 e 50 t ha⁻¹; (iii) avaliar o efeito da adição de fontes de substâncias húmicas na eficiência agrônômica das fontes de P. Os tratamentos constaram de 2 solos (LVA e LV), 2 fontes de P (SFT e FNR) e 2 fontes de substâncias húmicas - FSH (CO e TF) e (iv) avaliar o efeito da adição e forma de aplicação de ácido cítrico na eficiência agrônômica das fontes de P. O ácido cítrico (AC) foi adicionado nas doses de 0, 4 e 8 mmol kg⁻¹ de AC, sendo as formas de aplicação avaliadas foram: (a) plantio (a dose completa de AC foi aplicada no plantio); (b) reposição = plantio + reposição (a dose completa de AC foi aplicada no plantio, sendo feito a reposição aos 7, 14, 21 e 28 dias de AC correspondendo a 50 % das doses iniciais; (c) parcelado (as doses de AC foram parceladas em 4 vezes). Os resultados obtidos permitem concluir que: a adição de ácidos orgânicos de baixa massa molecular e fontes de substâncias húmicas aumentou a disponibilidade de P, com maiores efeitos nos solos de baixa capacidade de adsorção de fósforo. O aumento da eficiência agrônômica relativa após a adição de turfa foi maior para o fosfato natural reativo, quando comparado ao superfosfato triplo. A eficiência agrônômica das fontes SFT e FNR é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas, quando comparado a adição de turfa. A eficiência agrônômica relativa das fontes SFT e FNR é maior com a reposição do AC, quando compara a aplicação em dose única no plantio ou parcelado.

Palavras-chave: Fertilizantes fosfatados; Substâncias húmicas; Ácidos orgânicos; Ácido cítrico; Fósforo acumulado

ABSTRACT

Agronomic efficiency of phosphate fertilizers in soils with different capacity of phosphate adsorption and organic matter levels

Tropical soils highly intemperized show increased capability on phosphorus (P) adsorption. Several factors may influence P adsorption in such soils, but special attention must be paid on the organic matter level. Mechanisms involved in this process are related to the release of organic acids derived from the decomposition of the organic matter, which may either have low molecular weight such as malic acids, oxalate and citrates; or may have high molecular weight such as humic and fulvic acids, that act in the complexation of ferric iron and aluminum either in solutions or on colloid's surfaces, which, due to a shift of ligands, decrease P adsorption. This research work is comprised by four different studies, all of them performed under greenhouse conditions in the Department of Soil Sciences at ESALQ/USP, mainly aiming to: (i) verify the effect of the addition of organic acids and sources of humic substances on the availability of P in soils with different adsorption capacity. Treatments were performed in two types of soils (Red-Yellow Latosol – LVA and LV), two sources of P (monocalcium phosphate - FMC p.a. - and Arad-reactive natural phosphate - FNR), 2 sources of low molecular weight organic acids - AOBM - (citric acid and oxalic acid) and 2 sources of humic substances (soil organic conditioner - CO - and peat - TF). Doses of AOBM were 0, 2, 4 and 8 mmol kg⁻¹, doses of CO were 0, 150, 300 and 600 L ha⁻¹ and doses of TF were 0, 20, 40 and 80 t ha⁻¹; (ii) evaluate the agronomic efficiency of phosphorus sources with variable water solubility, with and without the addition of organic matter. Treatments consisted of two kinds of soils (LVA and LV), two sources of P (triple superphosphate - SFT - and reactive natural phosphate - FNR), three doses of P (0, 50 and 100 mg kg⁻¹) and three doses of peat, corresponding to 0, 25 and 50 t ha⁻¹; (iii) evaluate the effect of the addition of humic substances sources on the agronomic efficiency of P sources. Treatments consisted of 2 soils (LVA e LV), 2 sources of P (SFT and FNR) and 2 sources of humic substances - FSH (CO and TF); and (iv) evaluate the effect of the addition and the way of application of citric acid on the agronomic efficiency of P sources. Citric acid was added in doses corresponding to 0, 4 and 8 mmol kg⁻¹ AC, and exposure methods assessed were: (a) planting (full AC dose applied during planting); (b) reposition = planting + reposition (full AC dose was applied during planting, with the reposition of AC on the 7th, 14th, 21st and 28th day corresponding to 50% of initials doses); (c) partitioned (AC doses were partitioned in four times). Results obtained allowed us to conclude that the addition of low molecular weight organic acids and humic substances sources increased the availability of P, with grater effects in soils of low capacity of P adsorption. The increase on relative agronomic efficiency after the addition of peat was higher for reactive natural phosphate, when compared to triple superphosphate. Agronomic efficiency of SFT and FNR sources is higher when compared to peat addition. Relative agronomic efficiency of SFT and FNR sources was higher with the repositioning of AC, when compared to the exposure to a single dose during planting or partitioned.

Keywords: Phosphate fertilizers; Humic substances; Organic acids; Citric acid; Accumulated phosphate

1 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais são altamente intemperizados, predominando argilas 1:1 e óxi-hidróxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al). Estes minerais possuem elevada capacidade de adsorção de fósforo (P), sendo esta característica um dos fatores que controla a disponibilidade deste nutriente. A adsorção de fósforo nos solos pode ser afetada pela quantidade e mineralogia das argilas, teor de matéria orgânica (MO), pH, teor de cálcio, ferro trivalente e alumínio (SANCHEZ e UEHARA, 1980; RODRIGUES, 1980). A ligação do P com grupos hidroxilas na superfície dos minerais, provocado por meio da troca de ligantes, é conhecida como adsorção específica (HIGNSTON et al., 1967; OBIHARA; RUSSEL, 1972). O parâmetro mais utilizado para avaliar a capacidade de adsorção de P dos solos, são as isotermas obtidas por meio de métodos que calculam a diferença de concentração de uma solução padrão de fósforo, antes e após sua agitação com amostras de solo (NOVAIS e SMYTH, 1999).

A interação do P com as argilas e óxi-hidróxidos de Fe e de Al determina sua labilidade e conseqüentemente sua disponibilidade. Se o fósforo encontra-se em solução ou fracamente adsorvido, considera-se que esta é a forma lábil, pois está disponível. Entretanto, quando a adsorção ocorre por meio de ligações mais fortes, este grau de interação dificulta a dessorção do P para solução do solo, caracterizando as formas não lábeis. Este efeito torna este nutriente o mais limitante à produção agrícola nos solos tropicais, exigindo assim normalmente, elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados. Considerando que nestes solos a eficiência da adubação fosfatada é baixa, novos estudos com fontes de P e práticas de manejo são necessários.

As principais fontes de P comercializadas no Brasil são os fosfatos naturais, os fosfatos acidulados e os termofosfatos. No entanto, na agricultura brasileira mais de 90 % dos fosfatos utilizados são acidulados (GOEDERT; REIN; SOUZA, 1988). A caracterização destas fontes de P é realizada mediante determinações dos teores de P_2O_5 total, solúvel em citrato neutro de amônio + água (CNA + H_2O), solúvel em ácido cítrico a 2 % e solúvel em água (RAIJ, 1991). A garantia dos fertilizantes totalmente acidulados é feita com base no teor de P_2O_5 solúvel em solução de CNA + H_2O , e em água, exigindo elevada solubilidade (BRASIL, 2006).

Os fosfatos acidulados mais utilizados são superfosfatos simples e superfosfato triplo, obtidos pela reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico e ácido fosfórico respectivamente, além dos fosfatos de amônio (monoamônio – MAP e diamônio – DAP) obtidos pela reação do

ácido fosfórico com amônia. Geralmente, estas fontes são utilizadas como fontes padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência agrônômica relativa de outras fontes de P (BOLAN; WHITE; HEDLEY, 1990).

Segundo Chien e Menon (1995), a eficiência agrônômica (EA) dos fosfatos naturais pode ser afetada por: fonte, propriedades do solo, práticas de manejo e espécie vegetal. Já Khasawneh e Doll (1978), afirmaram que os fatores que afetam a EA dos fosfatos naturais são: reatividade da fonte, tamanho de partículas, pH e textura do solo, teor de cálcio e fósforo no solo, e teor de matéria orgânica. Entretanto, faltam resultados de pesquisas avaliando a participação da matéria orgânica na EA dos fosfatos naturais.

Espécies de plantas com elevada demanda por Ca e com capacidade de complexar este nutriente pela exsudação de ácidos orgânicos (citrato e oxalato), podem influenciar a EA dos fosfatos naturais e assim, elevar a eficiência de absorção de P desta fonte. Além disso, estes ácidos orgânicos podem atuar na dissolução da apatita, promovendo a liberação de P dos fosfatos naturais (MARWAHA, 1989).

A interação entre o fósforo e a matéria orgânica, pode ser avaliada por meio da adsorção de P após a incorporação da MO no solo. De acordo com Fontes et al., (1992), o aumento na capacidade de adsorção de P em profundidade nos solos, está diretamente relacionado à redução dos teores de matéria orgânica, conseqüentemente, diminui a quantidade de ácidos húmicos e outros ânions capazes de bloquear a superfície dos óxidos. Entretanto, a redução na adsorção de P e o aumento da disponibilidade deste nutriente, seguida da incorporação de MO não é universal. Nziguheba et al., (1998), observaram redução na adsorção de P com adição de resíduos de girassol em solos altamente intemperizados, mas, o mesmo não ocorreu com resíduos de milho. Lê Mare et al., (1987), demonstraram por meio de isoterma de adsorção de P, que em solos incubados por 8 anos com adubos verdes, não houve efeito na adsorção de P. Similarmente, os valores de P lábil ou extraível também não foram afetados. De acordo com Iyamuremye et al. (1996), os mecanismos envolvidos na redução da adsorção de P têm sido atribuídos à combinação de aumento do pH, com diminuição do Al trocável e, também com a quantidade de P mineralizável que é liberada, pelas fontes de MO. Considerando a discordância entre os dados apresentados na literatura, novos estudos são necessários para elucidar melhor os mecanismos que atuam na interação entre P e matéria orgânica.

Existem resultados consistentes atribuindo o aumento na disponibilidade de P em função da aplicação de MO, por meio da adsorção competitiva entre os ácidos orgânicos e o P (OTHIENO 1973; BAR-YOSEF 1996; NGACHIE 1996; ERICH et al., 2002). No entanto, este efeito pode ser também em função da quantidade de Pi (P-inorgânico) mineralizado da MO adicionada e não por meio da redução na adsorção de P pelos ácidos orgânicos. Estes resultados sugerem que de fato ocorre alguma mudança na resposta à adsorção de P no solo, que pode estar relacionado à produção de ácidos orgânicos. Porém, a liberação de Pi dos resíduos pode resultar numa redução aparente na adsorção de P. Um exemplo neste sentido é que o Pi proveniente da decomposição dos resíduos, normalmente não é considerado na avaliação de resposta a adsorção de P. Faltam resultados de pesquisas considerando fontes de ácidos orgânicos e a quantidade de Pi adicionada.

Dentre vários estudos que comprovam a redução na adsorção de P devido à incubação de MO os resultados de Nziguheba et al. (1998) merecem atenção. Estes autores compararam a influência da MO de elevado (resíduos de Girassol 0,27 % P e 3,8 % N) e de baixo (resíduos de milho 0,07 % P e 0,64 % N) teor de nutrientes, na adsorção de P. Os resultados deste estudo mostraram que, os resíduos de girassol com elevado teor de P e rápida liberação de Pi reduziu significativamente a adsorção de P, com o benefício se estendendo por quatro meses. Entretanto, restos culturais de milho, com 25 % do teor de P do girassol e adicionado 4 vezes a mais para manter igual adição de P, não teve efeito na capacidade de adsorção de P. Desta forma, resíduos de MO de elevada qualidade (facilmente mineralizável) pode rapidamente reduzir a adsorção de P em solos altamente intemperizados. Neste contexto, ainda são escassos os resultados de pesquisas, avaliando a influência da MO e de ácidos orgânicos prontamente disponíveis, na redução da adsorção de P nos solos.

Embora o Pi oriundo da decomposição da MO, participe da redução da adsorção de P, mudanças no pH devido à adição de MO pode influenciar a adsorção deste nutriente. De acordo com Hue et al., (1994), a adição de MO inicialmente eleva o pH, resultando na redução do Al trocável e conseqüentemente sua atividade na solução do solo. Além disso, o aumento na densidade de cargas negativas na superfície dos óxidos de Fe e Al diminui a adsorção de P (HAYNES; MOKOLOBATE, 2001). Os ácidos orgânicos resultantes da decomposição da MO, podem também diminuir o pH, tendo como benefício à solubilização dos fosfatos naturais, elevando assim sua eficiência agrônômica. No entanto, faltam estudos avaliando a contribuição

da matéria orgânica na diminuição do pH do solo e sua influência na eficiência agronômica dos fosfatos naturais.

Segundo Gatiboni (2003) alguns relatos do efeito da MO na disponibilidade de P são discordantes. Há afirmações de que os compostos orgânicos do solo podem adsorver o fosfato inorgânico, formando complexos ternários, intermediados por pontes de cátions, como o Fe e Al (BELDROK et al. 1997). A matéria orgânica poderia também aumentar a adsorção do fosfato, pelo impedimento da cristalização dos óxidos, aumentando a relação Fe oxalato/Fe ditionito, o que acarreta em maior superfície de adsorção (SCHWETMANN et al., 1986). Entretanto, outros relatos afirmam que os ácidos orgânicos e outros compostos intermediários de caráter aniônico, provenientes dos resíduos vegetais em decomposição, podem competir com o fosfato pelos sítios de adsorção dos colóides do solo, diminuindo sua adsorção (MESQUITA FILHO; TORRENT, 1993; IYAMUREMYE; DICK et al., 1996; NZIGUHEBA et al., 1998).

Os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica podem influenciar tanto positivamente quanto negativamente a disponibilidade de P, conforme o esquema proposto por Guppy et al., (2005), descrito na Figura 1.1. Embora a inibição competitiva tenha sido considerada como o principal mecanismo de ação da matéria orgânica no aumento da disponibilidade de P, a complexação de metais e reações de dissolução (afetando óxidos de Fe e de Al) podem potencialmente reduzir o número de sítios de adsorção, liberando P para solução. Outro efeito direto, mas negativo, da matéria orgânica na disponibilidade de P é o aumento da formação de pontes de ligações metálicas, incrementando a adsorção.

Em solos de clima tropical, os ácidos orgânicos competem pelos sítios de adsorção, isto aumenta a disponibilidade de P, devido quelatização dos óxidos de Fe e de Al (JONES, 1998). A constante de dissociação dos ácidos orgânicos geralmente é baixa, isto leva ao aumento da adsorção destes no solo com a redução do pH, resultando em maior inibição competitiva com P. Os ácidos orgânicos mais ativos no solo são cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico (GUPPY et al., 2005). No entanto, os ácidos húmicos e fúlvicos também podem cumprir papel semelhante na disponibilidade de fósforo.

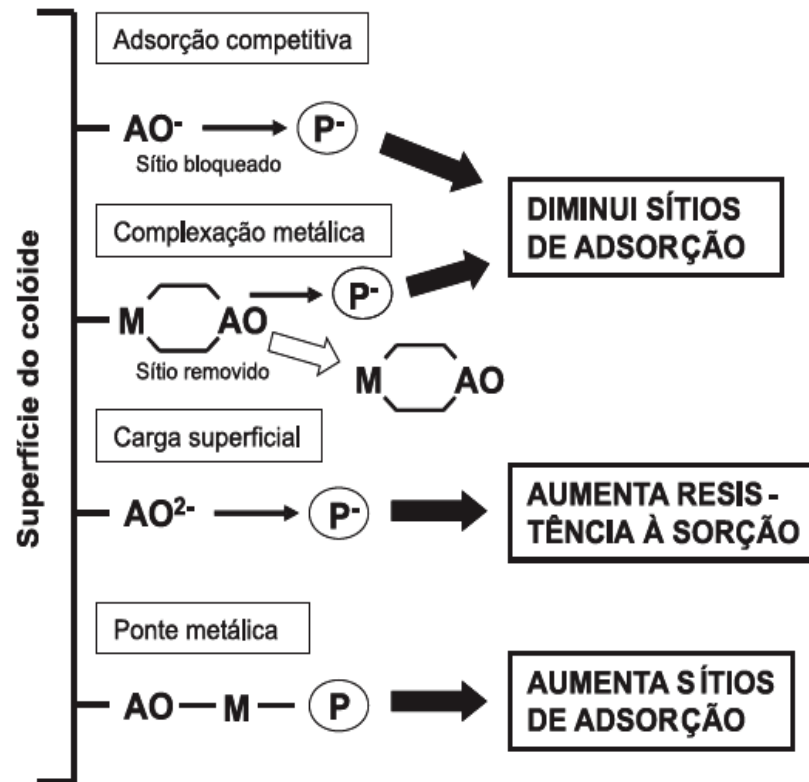


Figura 1.1 – Competição entre ácidos orgânicos e fósforo, pelos sítios de adsorção no solo (adaptado de Guppy et al., 2005)

Os ácidos orgânicos podem formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al presentes na superfície dos óxidos (SPOSITO, 1989). A estabilidade destes complexos afeta a adsorção de P, sendo que, quanto mais estáveis, maior é sua eficiência na redução da adsorção de P (BAR YOSEF 1996; CAJUSTE et al., 1996). Um exemplo neste sentido são que, os sítios de adsorção da goethita que podem ser bloqueados por ácidos húmicos, diminuindo a adsorção de P (NAGARAJAH et al., 1970). De acordo com Stevenson, (1986) os ácidos orgânicos (ácidos húmicos – AH e ácidos fúlvicos – AF) de estrutura mais complexa, podem formar “superfície protetora” ao redor de óxidos de Fe e Al, dificultando a adsorção de fósforo.

A participação dos ácidos orgânicos de elevada massa molecular na redução da adsorção de P precisa ser avaliada com cuidado, devido sua elevada concentração na solução do solo. A competição entre os compostos mais estáveis da MO e o P pelos sítios de adsorção, pode resultar em aumento no teor de P na solução do solo. Pushparajah (1998) sugere que em solos altamente intemperizados, a adsorção de P por AH ou AF pode minimizar os problemas associados à elevada adsorção de P, devido à lenta decomposição destes complexos. Entretanto, novos estudos

são necessários para avaliar o comportamento destes ácidos em solos com elevado grau de intemperismo, como, por exemplo, os Latossolos.

Portanto, fica evidente a necessidade de novos resultados de pesquisas avaliando a interação entre matéria orgânica e fósforo, os quais atribuem a redução na adsorção de P à adição de MO ao solo. Além disso, os efeitos comparativos da matéria orgânica na eficiência agrônômica de fontes de fósforo foram pouco estudados. Considerando a baixa eficiência da adubação fosfatada nos solos tropicais, o estudo proposto poderá adicionar informações importantes à literatura existente, sobre a participação da matéria orgânica no aumento da disponibilidade de P, bem como, na eficiência agrônômica das fontes de fósforo. Desta forma os objetivos deste estudo foram: (i) verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas, na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção; (ii) avaliar a eficiência agrônômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em água, com e sem adição de matéria orgânica; (iii) avaliar o efeito da adição de fontes de substâncias húmicas na eficiência agrônômica das fontes de P e (iv) avaliar o efeito da adição e forma de aplicação de ácido cítrico na eficiência agrônômica das fontes de P. As hipóteses testadas foram: (i) a adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas diminuem a adsorção de P e conseqüentemente aumenta a disponibilidade deste nutriente com maior efeito para os fosfatos naturais reativos nos solos de baixa capacidade de adsorção; (ii) o aumento na eficiência agrônômica dos fosfatos naturais reativos, após adição de matéria orgânica, é maior quando comparados aos fosfatos acidulados; (iii) a eficiência agrônômica das fontes de P é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas quando comparada a adição de turfa e (iv) a eficiência agrônômica das fontes de fósforo é maior com a reposição de ácido cítrico quando comparado à adição no plantio ou parcelado.

Referências

BAR-YOSEF, B. Root excretion and their environmental effects: Influence on availability of phosphorus. In: WAISEL, Y. ; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 581-605.

BELDROCK, C.N.; CHESHIRE, M.V.; SHAND, C.A. The involvement of iron and aluminum in the bonding of phosphorus to soil humic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.28, p.961-971, 1997.

BOLAN, N.S.; WHITE, R.E.; HEDLEY, M.J. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 297-313, 1990.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de Corretivos e Fertilizantes. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura: legislação e fiscalização**. Brasília, 2006. 127 p.

CAJUSTE, L.J.; LAIRD, R.J.; CAJUSTE, B.L.Jr. CUEVAS, B.G. Citrate and oxalate influence on phosphate, aluminium and iron in tropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.27, p. 1377-1386, 1996.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.

ERICH, M.S.; FITZGERALD, C.B.; PORTER, G.A. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Zurich, v. 88, p. 79-88, 2002.

FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.982-990, 1992.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**, 2003. 231p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1988.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p.189-202, 2005.

HAYNES, R.J.; MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 59, p.47-63, 2001.

HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Specific adsorption of anions. **Nature**, London, n.215, p.1459-1461, 1967.

HUE, N.V.; IKAWA, H.; SILVA, J.A. Increasing plant available phosphorus in a ultisol with yard waste compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 25, p. 3292-3303, 1994.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advance Agronomy Journal**, Newark, v.75, p.457-461, 1996.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 205, p. 25-44, 1998.

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 10, p. 159-206, 1978.

LÊMARE, P.H.; PEREIRA, J.; GOEDERT, W.J. Effect of green manure on isotopically exchangeable phosphate in a dark-red latosol in Brazil. **Journal of Soil Science**, New Brunswick, v. 38, p.199-209, 1987.

MARWAHA, B.C. Rock phosphate holds the key to productivity in acid soils – a review. **Fertiliser News**, New Delhi, v. 34, n. 3, p. 23-29, 1989.

MESQUITA FILHO, M.V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Tucson, v.58, p.107-123, 1993.

NAGARAJAH, S.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Competitive adsorption of phosphate with polygalacturonate and other organic anions on kaolinite and oxide surfaces. **Nature**, London, v. 288, p. 83-85, 1970.

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

NZIGUHEBA, G.; PALM, C.A.; BURESH, R.J.; SMITHSON, P.C. Soil phosphorus fractions and adsorption as effected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 198, p.159-168, 1998.

NGACHIE, V. Phosphate sorption of an acid-mineral soil as affected by liming, organic material addition, and heating. **Tropical Agriculture**, New Delhi, v. 73, p.175-179, 1996.

OBIHARA, C.H.; RUSSELL, E.W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, New Brunswick, v. 23, p.105-117, 1972.

OTHIENO, C.O. The effect of organic mulches on yields and phosphorus utilization by plants in acid soils. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 38, p.17-32, 1973.

PUSHPARAJAH, E. Nutrient management and challenges in managing red and lateritic soils. In: SEHGAL, J.; BLUM, W.E.; GAJBHIYE, K.S. (Ed.). **Red and lateritic soils**. Rotterdam, :Balkema, 1998. p.293-304.

RODRIGUES, M.R. **Fatores que afetam a fixação de fosfatos nos solos do Estado de São Paulo**. 1980. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

SANCHEZ, P.A.; UHERA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. chap. 17, p. 471-514.

SCHWERTMAN, U.; KODAMA, H.; FISHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.). **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA Spec. Publ. no 17, WI. 1986. p.223-247.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 304p.

STEVENSON, F.J. **Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley, 1986. 380p.

2 EFEITO DA APLICAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E MATÉRIA ORGÂNICA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS

Resumo

Os processos de adsorção de fósforo no solo diminuem a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Os ácidos orgânicos como citrato e oxalato, bem como os ácidos húmicos e fúlvicos podem bloquear os sítios de adsorção dos óxi-hidróxidos de Fe e de Al. As principais fontes de ácidos orgânicos nos solos são: os exsudados de plantas, a decomposição da MO e a síntese microbiana. Desta forma, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas, na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção. Tendo como hipótese que a adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas diminuem a adsorção de P e conseqüentemente aumenta a disponibilidade deste nutriente com maior efeito para os fosfatos naturais reativos nos solos de baixa capacidade de adsorção. Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Os tratamentos compreenderam 2 tipos de solo (LVA e LV), 2 fontes de P (FMC p.a. e FNR), 2 fontes de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM (ácido cítrico - AC e ácido oxálico - AO), 2 fontes de substâncias húmicas (CO e TF). Os AOBM foram fornecidos nas doses de 0, 2, 4 e 8 mmol kg⁻¹ de ácido orgânico. As fontes de substâncias húmicas foram aplicadas em doses que correspondem a 0, 150, 300, 600 L ha⁻¹, para CO e doses de 0, 20, 40, e 80 t ha⁻¹ para a TF. As fontes de P foram fornecidas em dose constante de 50 mg kg⁻¹ de P. Considerando a média das doses de ácidos orgânicos (AC e AO) utilizados, quando adicionou ácido cítric houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) na disponibilidade de P para a fonte FNR (15,2 mg dm⁻³ de P) em comparação ao FMC (13,1 mg dm⁻³ de P). A aplicação de TF e CO de solo aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) a disponibilidade de P aos 7 dias de incubação para todas as doses utilizadas. Houve diferença entre as fontes de substâncias húmicas para as doses correspondentes a 20 e 80 t ha⁻¹ de TF e 150 e 600 L ha⁻¹ de CO, sendo que na menor dose o teor de P disponível foi maior para o CO em comparação a TF. Estes resultados indicam que o ácido cítrico foi mais eficiente em aumentar a disponibilidade de P do fosfato natural reativo em comparação ao ácido oxálico. O efeito dos ácidos húmicos oriundos da turfa ou do condicionador orgânico na disponibilidade de P pode se tornar um importante mecanismo para aumentar a eficiência da adubação fosfatada.

Palavras-chave: Adsorção de fósforo; Fósforo disponível; Ácido cítrico; Ácido oxálico

Abstract

Processes of phosphorus adsorption in soil diminish the availability of this nutrient to plants. Organic acids, such as citrate and oxalate, as well as humic and fulvic acids may block adsorption sites of Fe and Al oxihydroxides. Main sources of organic acids in soils are: plant exudates, decomposition of organic matter and microbial synthesis. Thus, this research work mainly aimed to verify the effect of the addition of organic acids and humic substances sources on P availability in soils with different adsorption capacities. The hypothesis evaluated in this work was that the addition of organic acids and sources of humic substances decreases P adsorption, and consequently increases the availability of this nutrient with a higher effect for reactive natural phosphates in soils of low adsorption capacity. This research work was carried out under greenhouse conditions in the Department of Soil Sciences at ESALQ/USP. Treatments comprised 2 kinds of soils (LVA and LV), 2 sources of P (FMC p.a. and FNR), 2 sources of low molecular weight organic acids - AOBM (citric acid - AC - and oxalic acid- AO) and two sources of humic substances (CO and TF). Low molecular weight organic acids were provided in the doses of 0, 2, 4 and 8 mmol kg⁻¹ of organic acids. Humic substances sources were applied in doses of CO corresponding to 0, 150, 300 and 600 L ha⁻¹ and doses of TF were 0, 20, 40 and 80 t ha⁻¹. Sources of P were provided in constant doses of 50 mg kg⁻¹ P. Considering that the average of organic acids doses (AC and TF) utilized, there was a significant difference ($P \leq 0,05$) on the availability of P for FNR source (15,2 mg dm⁻³ de P) when citric acid was added, in comparison to FMC (13,1 mg dm⁻³ de P). Application of soil TF and CO significantly increased ($P \leq 0,05$) the availability of P on the 7th day of incubation for all doses utilized. There was a difference between the sources of humic substances for doses corresponding to 20 and 80 t ha⁻¹ TF, and 150 and 600 L ha⁻¹ CO, considering that in the lower dose, the available P level was higher for CO in comparison to TF. These results suggest that citric acid was more efficient on increasing the availability of P from reactive natural phosphate in comparison to oxalic acid. The effect of humic acids derived from peat or organic conditioner on the availability of P may become an important mechanism for improving the efficiency of phosphate fertilization.

Keywords: Phosphorus adsorption; Available phosphorus; Citric acid; Oxalic acid.

2.1 Introdução

Os solos tropicais são altamente intemperizados e caracterizam-se pela predominância de minerais de argila 1:1 e óxidos de Fe e de Al. A interação destes minerais com fósforo (P) denomina-se “adsorção”¹, sendo o processo pelo qual ocorre troca de ligantes OH na superfície dos óxi-hidróxidos de Fe e de Al por fosfato, além disso compostos de baixa solubilidade podem

¹ O termo adsorção é aqui empregado englobando os fenômenos de adsorção e precipitação, como tem sido mais usado na literatura (Novais; Smyth, 1999).

ser formados (NOVAIS; SMYTH 1999). Estes fenômenos provocam diminuição na disponibilidade de fósforo.

No entanto, resultados de pesquisa têm demonstrado que a matéria orgânica (MO) promove modificações importantes na adsorção de P nos solos, diminuindo a intensidade deste fenômeno (GUPPY, 2005). Estas alterações são atribuídas à liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da MO. Estes ácidos apresentam elevada afinidade pelos sítios de adsorção de P, diminuindo a adsorção deste nutriente e conseqüentemente aumentando sua disponibilidade (ANDRADE et al. 2003).

A adsorção competitiva é considerada o mecanismo primário que explica o aumento na disponibilidade de P (STAUTON; LEPRICE, 1996). No entanto, a eficiência dos ácidos orgânicos em competir com P pelos sítios de adsorção, depende principalmente do pH do solo, da quantidade de ácido orgânico formado e da sua persistência no solo (KIRK, 1999). A quantidade de ácido orgânico nos solos varia de acordo com o material adicionado, exsudação de raízes e com o metabolismo dos microrganismos. Após a aplicação de matéria orgânica ao solo a mesma é decomposta por meio da ação microbiana, produzindo ácidos orgânicos que podem reagir diretamente com os sítios de adsorção de P (EASTERWOOD; SARTAIN, 1990; BAR-YOSEF, 1996). Porém, ainda são incipientes os resultados de pesquisas que evidenciam a eficiência dos ácidos orgânicos em bloquear os sítios de adsorção de fósforo.

O efeito direto do produto da decomposição da MO no P disponível depende do tipo de ácido formado. Normalmente, os ácidos orgânicos tricarbônicos (Citrato), devido o maior número de grupos funcionais como OH e COOH, são mais efetivos na redução da adsorção de P (SCHUERTMANN et al. 1986). Já os monocarbônicos (acetato) por serem de cadeia mais simples, são decompostos rapidamente, tornando seu efeito transitório, o que dificulta sua mensuração (YAMUREMYE; DICK, 1996). Entretanto, a adsorção destes ácidos no solo, reduz sua decomposição devido à proteção da atividade microbiana, aumentando sua persistência (GEELHOED et al., 1999). Os processos que governam a persistência dos ácidos orgânicos são importantes na determinação do seu potencial para competir com o P pelos sítios de adsorção. Basicamente, três fatores afetam a persistência dos ácidos orgânicos no solo: atividade microbiana, disponibilidade de carbono e adsorção nos colóides do solo (GUPPY et al., 2005).

A atividade microbiana pode ser afetada pela aeração, umidade, temperatura e pH, disponibilidade de nutrientes, presença de elementos tóxicos, entre outros que influencia

grandemente a taxa de mineralização dos ácidos orgânicos nos solos (PAUL; CLARCK, 1989; KUSEL; DRAKE, 1998). As propriedades físicas do solo, biota para mineralização e interação com cátions do solo, afetam a disponibilidade de carbono. A adsorção dos ácidos orgânicos ao solo, segue os princípios da adsorção dos ânions inorgânicos e ocorre principalmente por meio de troca de ligantes (BARROW, 1987; FOX; COMERFORD, 1990;).

Similar a adsorção de P, as reações de adsorção dos ácidos orgânicos nos solos, ocorre por meio de ligações a sesquióxidos e a afinidade relativa pela superfície dos minerais é semelhante a do P (Al amorfo > ferrihidrita > goethita) (KAISER; ZECH, 1998). Jones e Brassington (1998) demonstraram que as reações de troca de ligantes dos ácidos orgânicos são fracas, saturando rapidamente a capacidade de adsorção de ânions no solo. A quantidade de ânions adsorvida ao solo segue a seqüência de preferência nos sítios de adsorção: fosfato >>> oxalato > citrato > malato >> acetato. Isto explica, porque a concentração dos ácidos orgânicos precisa ser alta para ter efeito significativo na disponibilidade de P no solo (GUPPY et al., 2005).

Os ácidos orgânicos de estrutura mais complexa, tais como, os ácidos húmicos e fúlvicos, são mais estáveis em relação aqueles de cadeia mais simples, podendo recobrir a superfície dos óxidos de Fe e de Al dificultando a adsorção de P, e desta forma, aumentar a disponibilidade deste nutriente (STEVENSON, 1986). Diante disso, novos estudos devem ser direcionados para avaliar o efeito da aplicação de fontes de ácidos na disponibilidade de P.

A aplicação de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas visando o aumento na disponibilidade de P tem sido pouco estudado em solos com diferentes capacidades de adsorção. Considerando a baixa eficiência da adubação fosfatada, é possível que a adição de compostos orgânicos oriundos da MO, possa reduzir a adsorção de P, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente. Desta forma, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas, na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção. Tendo como hipótese que a adição de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas diminuem a adsorção de P e conseqüentemente aumenta a disponibilidade deste nutriente com maior efeito para os fosfatos naturais reativos nos solos de baixa capacidade de adsorção.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Material e Métodos

2.2.1.1 Caracterização do solo

Para condução dos experimentos foram utilizados dois solos, classificados de acordo com Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV), coletados, respectivamente, nos municípios de Itirapina – SP e Palmital – SP. A escolha destes solos é justificada pelo fato de que, os mesmos apresentam baixo teor de P disponível e capacidade máxima de adsorção de P contrastantes. As amostras dos referidos solos foram coletadas na profundidade de 0-0,2 m. A caracterização das amostras quanto a granulometria foi realizado pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1999) e revelou 720 e 60 g kg⁻¹ de areia, 40 e 190 g kg⁻¹ de silte e 240 e 750 g kg⁻¹ de argila, para LVA e LV respectivamente. A análise química das amostras de terra apresentou para LVA 25 g dm⁻³ de MO, 3 mg dm⁻³ de P-resina, 0,5; 4; 2; 8; 34; 40,5 mmol_c dm⁻³ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e CTC respectivamente, e pH em cloreto de cálcio de 4,0 e para LV 42 g dm⁻³ de MO, 3 mg dm⁻³ de P-resina, 0,7; 8; 3; 6; 42; 53,7 mmol_c dm⁻³ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e CTC respectivamente, e pH em cloreto de cálcio de 4,3 (RAIJ et al., 2001). Os solos foram caracterizados quanto à capacidade de adsorção de P, pela curva de adsorção determinada pelo método descrito por Olsen e Watanabe (1957). A quantidade de fósforo adsorvida nos solos foi obtida pela diferença entre as quantidades de P aplicadas, e as quantidades que ficaram na solução de equilíbrio. Os dados calculados foram ajustados de acordo com a isoterma de Langmuir, obtendo valores de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 438 e 1238 mg kg⁻¹ de P, para LVA e LV, respectivamente (Figura 2.1).

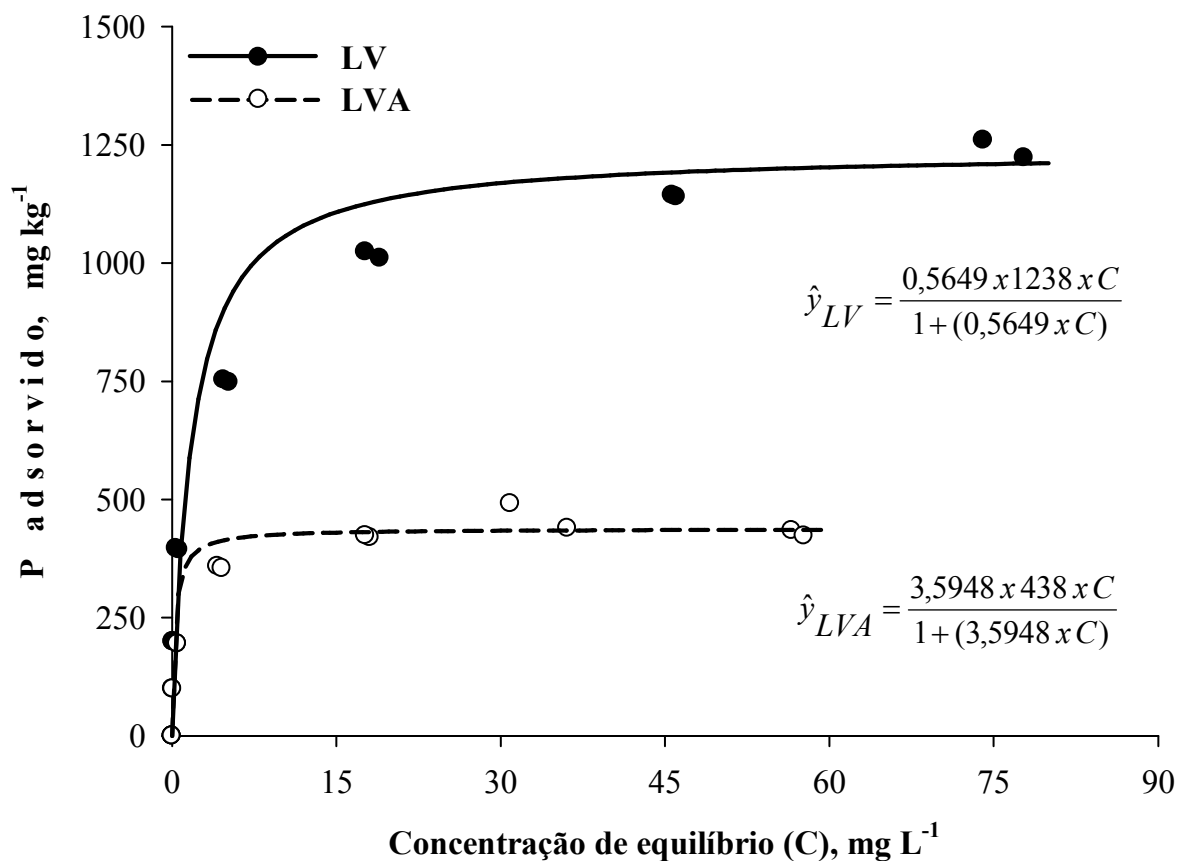


Figura 2.1 – Representação gráfica da capacidade de adsorção de fósforo dos solos LV e LVA, avaliada por meio das curvas de adsorção de P e ajuste da equação da isoterma de Langmuir

2.2.1.2 Caracterização das fontes de fósforo

As fontes de P utilizadas apresentam características distintas quanto à solubilidade em água. Desta forma, foram escolhidas as seguintes fontes: superfosfato triplo (SFT), fonte padrão de elevada solubilidade em água e o fosfato natural reativo de Arad (FNR). A caracterização das fontes de P foi feita segundo Brasil (2006), sendo que os teores de P₂O₅ determinados nas frações de P, para fonte SFT, indicaram 44,9; 41,3; 42,4 e 43,0 % para P₂O₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA + H₂O) e ácido cítrico 2 % respectivamente. Para a fonte FNR os teores de P₂O₅, encontrados foram de 31,5; 0,3; 4,8 e 8,9 % para P₂O₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA + H₂O) e ácido cítrico 2 %, respectivamente. No experimento de incubação a fonte padrão utilizada, foi o fosfato monocálcico (FMC p.a.) com 57,7; 56,1; 57,1 e 57,5 % de P₂O₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA

+ H₂O) e ácido cítrico 2 %, respectivamente. A utilização desta fonte se justifica pelo fato de que a mesma apresenta elevada solubilidade em água e elevado grau de pureza, sendo apropriada para estudos de incubação.

2.2.1.3 Caracterização das fontes de ácidos orgânicos

Para realização dos experimentos foram utilizados fontes de ácidos orgânicos, de acordo com os seguintes critérios: (i) número de grupos carboxílico para os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBM), sendo um tricarboxílico (ácido cítrico) e um dicarboxílico (ácido oxálico), ambos aplicados como reagente p.a. e (ii) fontes de substâncias húmicas, sendo uma turfa - TF e um condicionador orgânico - CO, sendo este um produto líquido a base de substâncias húmicas (SH), obtido a partir da extração da TF conhecido comercialmente como AGROLMIN®, ambos fornecidos pela Empresa Agrolatino Indústria e Comércio de Adubos e Fertilizantes LTDA. O termo condicionador orgânico é utilizado neste trabalho, devido a fração ativa dos ácidos húmicos (COOH e OH), que podem aumentar a CTC do solo, formar quelatos com Fe e Al, reduzindo a atividade do Al na solução do solo, além de aumentar a atividade biológica no solo e melhorar a agregação e porosidade do solo. A caracterização dos AOBM (ácido cítrico p.a. e ácido oxálico p.a.) foi fornecida pelo fabricante, tendo em vista que, estes apresentam elevado grau de pureza e massa molecular conhecida. Portanto, estes ácidos estão descritos de acordo com seu número grupos de carboxílicos.

Para as fontes de substâncias húmicas, a caracterização foi realizada por três métodos: (i) análise química de fertilizantes orgânicos (KIEHL, 1985; RODELLA; ALCARDE, 1994;), (ii) fracionamento químico das substâncias húmicas (BARROS et al.1994; SWIFT, 1996,) e (iii) Espectroscopia de infravermelho (GRIFFITH; SCHNITZER. 1975; BARROS et al. 1994; PRADO et al. 1999).

Considerando que o CO é um produto a base de substâncias húmicas, sendo o mesmo obtido pela extração da TF, optou-se pela caracterização utilizando os métodos de fracionamento químico e espectroscopia de infravermelho apenas para os ácidos húmicos extraídos da TF.

Análise química de fertilizantes orgânicos

Os resultados dos parâmetros avaliados pela análise química dos materiais utilizados, como fontes de substâncias húmicas estão descritos na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Caracterização das fontes de substâncias húmicas turfa e condicionador orgânico

Caracterização ⁽¹⁾	Unidade	Turfa ⁽²⁾	Unidade	Condicionador orgânico ⁽²⁾
pH CaCl ₂ 0,01M	-	7,9	-	9,1
Umidade	%	9,3	-	-
Densidade	-	-	-	1,05
Carbono Orgânico	g kg ⁻¹	164	g L ⁻¹	1,0
N – Total	mg kg ⁻¹	7100	mg L ⁻¹	2500
P – Total	mg kg ⁻¹	700	mg L ⁻¹	100
K – Total	mg kg ⁻¹	3800	mg L ⁻¹	10800
Ca – Total	mg kg ⁻¹	5700	mg L ⁻¹	40
Mg – Total	mg kg ⁻¹	19500	mg L ⁻¹	40
S – Total	mg kg ⁻¹	2210	mg L ⁻¹	2400
Relação C/N	-	25/1	-	1/1

⁽²⁾ Determinado pelo método utilizado para fertilizantes orgânicos (KIEHL, 1985; RODELLA; ALCARDE, 1994;).

Fracionamento químico das substâncias húmicas

O fracionamento químico das SH foi realizado de acordo com a técnica de solubilidade diferencial descritos por Hayes et al. (1989), conforme o método padrão de extração ácido – base com posterior purificação (Figura 2.2), utilizando-se os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS).

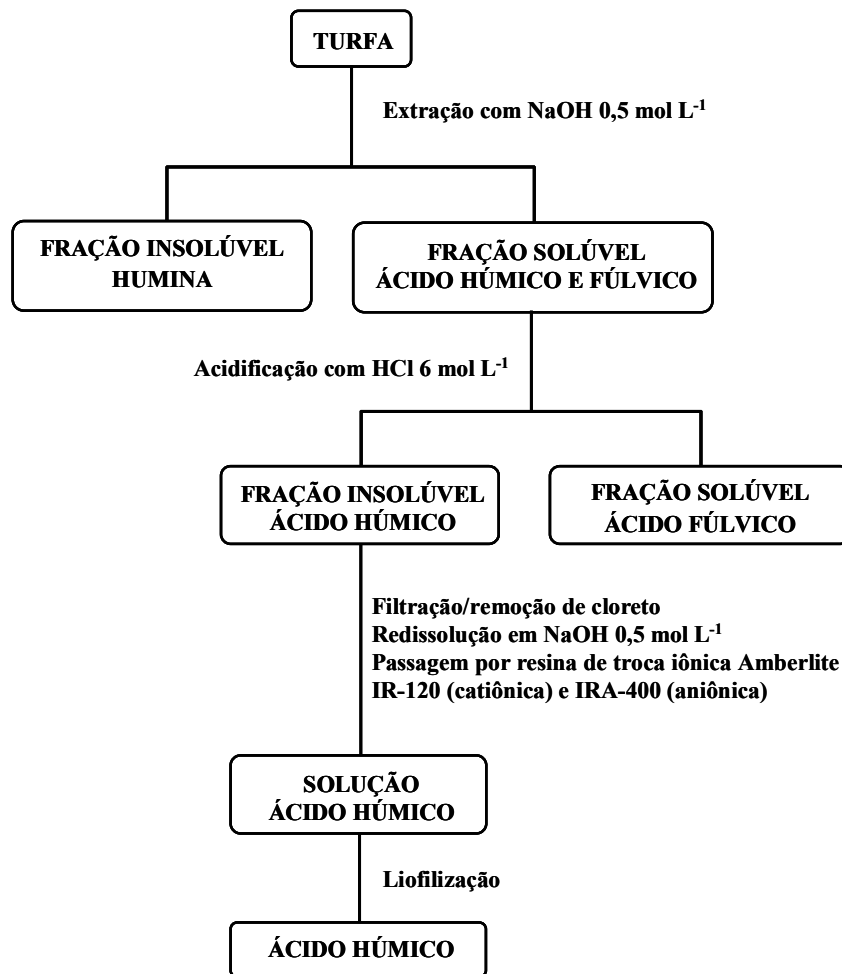


Figura 2.2 – Extração e purificação de ácidos húmicos modificada por BARROS et al. (1994); GRIFFITH; SCHNITZER (1975)

Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier

A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier – FTIR foi utilizada para identificar grupos funcionais dos ácidos húmicos como: grupos carboxila, amina, hidroxila, carbonila e outros (SCHNITZER; KHAN, 1978; SILVERSTEIN et al., 1991; STEVENSON, 1994). As medidas foram feitas utilizando-se 1,0 mg da amostra liofilizada com 100 mg de KBr. A varredura efetuada foi de 4000 a 400 cm⁻¹, em um espectrômetro com transformada de Fourier (BOMEM MB-102) (GRIFFITH; SCHNITZER 1975; BARROS et al. 1994; PRADO; REZENDE 1999). As principais bandas e suas interpretações estão apresentadas na Figura 2.3 e Tabela 2.2.

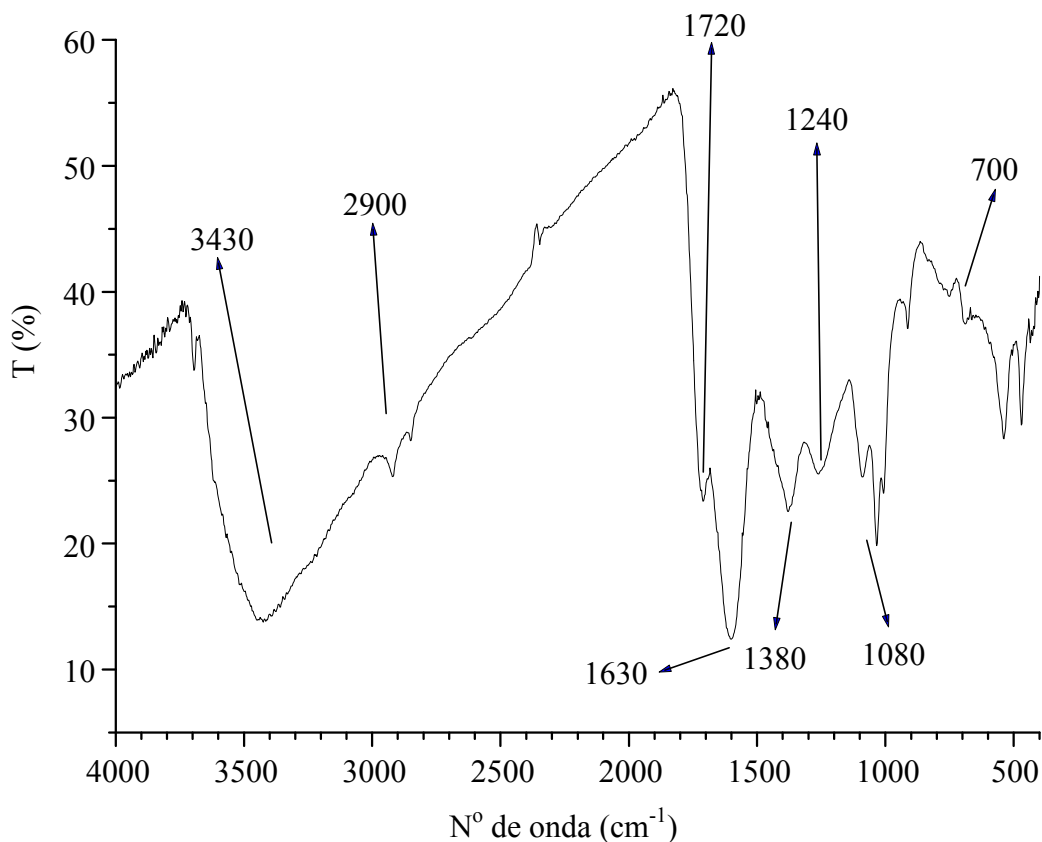


Figura 2.3 – Espectro na região do infravermelho de amostra de ácidos húmicos extraído da turfa

As bandas nos comprimentos de ondas de aproximadamente 3430 e 3420 cm^{-1} podem estar relacionadas ao estiramento OH de grupamentos carboxílicos, fenólicos, álcoois e água. Já as bandas próximas de 2900 cm^{-1} indicam a presença de C-H de hidrocarbonetos alifáticos. Na região de 1700 cm^{-1} , as bandas são características de estiramentos de C=O de grupos carboxílicos e carbonílicos.

Bandas largas no espectro dos ácidos húmicos próximos de 1600 cm^{-1} são características de estiramento de C=O de COO^- aromáticos, de cetonas e aldeídos, C=C de grupos aromáticos e amidas. Além disso, o espectro do infravermelho com bandas próximas a 1380 cm^{-1} são características da deformação OH em COO^- e estiramento C-O de grupos fenólicos, assim como de deformação C-H de grupos CH_2 e CH_3 .

De acordo com a figura 4 observa-se uma banda próxima a 1240 cm^{-1} , característico de estiramento C-O de grupos fenólicos e deformação O-H de COOH. Em banda 1080 cm^{-1} , a

absorção é atribuída ao estiramento C-O de polissacarídeos e banda próxima a 770 cm^{-1} pode ser de estiramento de cadeias alifáticas.

Tabela 2.2 – Principais bandas do espectro na região do infravermelho da amostra de ácidos húmicos e as suas atribuições (GRIFFITH; SCHNITZER 1975; SILVERSTEIN et al, 1994)

Bandas	Atribuições
3500-3300	Estiramento de OH carboxílico, fenol, álcool ou água
2900 e 2850	Estiramento de C-H alifático
~1720	C=O de ácidos carboxílicos, aldeídos e cetonas
~1630	Estiramento de C=O de COO^- aromáticos, cetonas ou C=C conjugado com COO^- ou amidas II
~1583	Estiramento de C=C de aromáticos e amidas NH_2 ou NH
~1450	Deformação de C-H alifático de grupos C-H alifático de grupos CH_2 ou CH_3 , ou compostos de N e/ou S
1408	Deformação de C-H alifáticos, estiramento assimétrico de COO^-
~1240	Estiramento C-O de grupos fenólicos ou deformação OH de CO_2H
1100-1040	Estiramento C-O de polissacarídeos e compostos de fósforo
890-820	Compostos de Si-O, Si-H e P-O
~770	Estiramento de cadeias alifáticas

Condução do experimento de incubação

Um estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, utilizando potes de plástico contendo 0,2 kg de terra, previamente corrigido com calcário para elevar a saturação por base a 60 %. Os tratamentos compreenderam 2 tipos de solo (LVA e LV), 2 fontes de P (FMC p.a. e FNR), 2 fontes de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM (ácido cítrico - AC e ácido oxálico - AO), 2 fontes de substâncias húmicas (CO e TF). Os AOBM foram fornecidos nas doses de 0, 2, 4 e 8 mmol kg^{-1} de ácido orgânico, baseado em estudos realizados por Andrade et al., (2003). As fontes de substâncias húmicas foram aplicadas em doses que correspondem a 0, 150, 300, 600 L ha^{-1} para o CO, sendo

recomendada doses de 250 L ha⁻¹ para cultura cana de açúcar, e doses correspondentes a 0, 20, 40, e 80 t ha⁻¹ para a TF, sendo usado a campo doses de até 25 t ha⁻¹. O controle com fontes de P sem adição de compostos orgânicos e ácidos orgânicos foi incluídos. As fontes de P foram fornecidas em dose constante de 50 mg kg⁻¹ de P, tendo em vista que nesta dose não ocorreria falta de P para interagir com os ácidos orgânicos e nem excesso para ocultar o efeito destes na disponibilidade de P.

Os AOBM foram aplicados na forma de solução, sendo o valor de pH ajustados para a faixa de 5,0-5,5, por meio da adição de solução de KOH, as fontes de P foram misturadas às amostras de solo e homogeneizadas, sendo aplicadas com base no P total e na forma de pó e farelado, para FMC p.a. e FNR respectivamente. A TF foi misturada ao solo, já o CO foi aplicado na forma líquida em superfície. Os demais nutrientes foram adicionados na forma de solução nas quantidades de 200 mg kg⁻¹ de N (uréia), 200 mg kg⁻¹ de K (KCl p.a.), 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo. Os potes foram arranjados em um esquema de blocos completos casualizados com três repetições, sendo incubados por 7, 21, 35 e 49 dias (Tabela 1 do Apêndice A). A umidade foi mantida a 70 % da capacidade de campo durante todo o experimento. Considerando que o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de fontes de ácidos orgânicos, no teor de P disponível das fontes de P em solos, as amostras de terra coletadas em cada tempo, foram analisadas para determinação do P por extração com resina trocadora de íons (P – resina) (RAIJ et al., 2001).

2.3 Análise dos dados

Os resultados do parâmetro P-resina foram submetidos à análise de variância, para verificar a significância dos efeitos das fontes de P, fontes de ácidos orgânicos e doses de AC, AO, CO e TF. Além disso, avaliou-se a existência ou não de interação significativa entre esses fatores. A comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando o pacote estatístico SISVAR[®] versão 4.0 (FERREIRA, 2000). As curvas de regressão foram ajustadas pelo Software SigmaPlot[®] versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2008) para avaliar o efeito das doses de ácidos orgânicos para cada fonte de P e solo em função do tempo de incubação.

2.4 Resultados e Discussões

Normalmente, os ácidos orgânicos são classificados de acordo com sua densidade de carga, peso molecular e sua capacidade de complexação, estando relacionado ao arranjo dos grupos funcionais carboxílicos, hidroxílicos e fenólicos (INOUE; HUANG, 1986, SPOSITO, 1989). Considerando a diferença entre as fontes de ácidos orgânicos utilizadas e para melhor compreensão dos dados optou-se em separar e discutir os resultados em duas partes: a primeira relacionada ao efeito dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBM), alta densidade de carga e alto poder de complexação (ácido cítrico – AC e ácido oxálico – AO) e a segunda refere-se ao efeito das fontes de substâncias húmicas – SH, com elevada massa molecular, menor densidade de carga e alto poder de complexação (Turfa – TF e Condicionador Orgânico – CO), no teor de P disponível.

Os teores originais de P disponíveis avaliados pelo método da resina de troca iônica, obtidos em cada tratamento estão apresentados nas Tabelas 2 a 5 do Apêndice A. Os resultados da análise de variância para o parâmetro P-resina podem ser visualizados nas Tabelas 6 a 9 do Apêndice A. Para discussão dos dados considerou o desdobramento do maior nível de interação entre os fatores fontes de P, fontes e doses de AOBM e SH nos períodos avaliados. Os modelos de regressão para avaliar o efeito do tempo de incubação, doses de ácidos orgânicos e fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível para os solos (LVA e LV) estão apresentados nas Figuras 2.4 a 2.7.

Efeitos dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular no teor de P disponível

De maneira geral, a aplicação dos ácidos cítrico e oxálico influenciou a disponibilidade de P avaliado pela resina, para as fontes FMC e FNR no solo LVA (Figura 2.4). Considerando a fonte de elevada solubilidade (FMC), a adição de 2 mmol dm^{-3} de AC aumentou o teor de P disponível após 7 dias de incubação, diminuindo com o passar do tempo (Figura 2.4A). Já para a fonte de baixa solubilidade (FNR), este efeito se estendeu até aos 21 dias de incubação, para todas as doses de AC utilizadas (Figura 2.4B). Após este período a disponibilidade de P diminuiu, indicando que os processos de adsorção voltam ocorrer com a degradação do AC. Estes resultados sugerem que o efeito do AC é transitório, devido sua rápida mineralização, deixando livres os sítios de adsorção. Resultados semelhantes foram encontrados por Afif et al., (1995), Andrade, (2005).

O teor de P disponível no solo LVA para a fonte FMC após a adição de AO aumentou após 7 e 21 dias de incubação, com maior efeito para as doses de 4 e 8 mmol dm⁻³ de AO (Figura 2.4C). Considerando a baixa capacidade de adsorção deste solo (438 mg kg⁻¹), fica evidente que a competição pelos sítios de adsorção de P ocorreu nas maiores doses de AO. Embora baixas concentrações de ácidos orgânicos tenham reduzido a adsorção de P, mesmo com o P em altas concentrações, a eficiência em competir pelos sítios e reduzir a adsorção é maior quando os estes encontram-se em altas concentrações (GUPPY et al., 2005).

Assim como ocorreu para o ácido cítrico, não foi observado efeito da adição de AO no teor de P disponível após 35 dias de incubação, indicando que com o tempo o AO foi degradado, o que comprova a baixa persistência dos AOBM nos solos. Segundo van Hees et al. (2005) os ácidos orgânicos de cadeia simples podem ser rapidamente mineralizados, com tempo de meia vida variando de 0,5 a 12 h. Entretanto, dados recentes demonstram que a adsorção de ácidos orgânicos em oxihidróxidos de Fe diminui sua degradação, indicando que a adsorção dificulta a mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

De acordo com a figura 2.4D, houve aumento no teor de P disponível para a fonte FNR, apenas para a dose de 4 mmol dm⁻³ de AO. Além disso, verifica-se que, houve ligeiro aumento no teor de P aos 49 dias de incubação, na maioria das doses de AC e AO (Figura 2.4B e 2.4D), o que pode ser devido a solubilidade lenta desta fonte, o que confere maior efeito residual. Neste caso, dois fatores podem explicar a participação dos AOBM na disponibilidade de P no solo para as fontes estudadas: (i) competição pelos sítios de adsorção de P (ANDRADE et al., 2003) e (ii) aumento da solubilização do fosfato natural reativo (KPOMBLEKOU-A; TABATABAI, 2003).

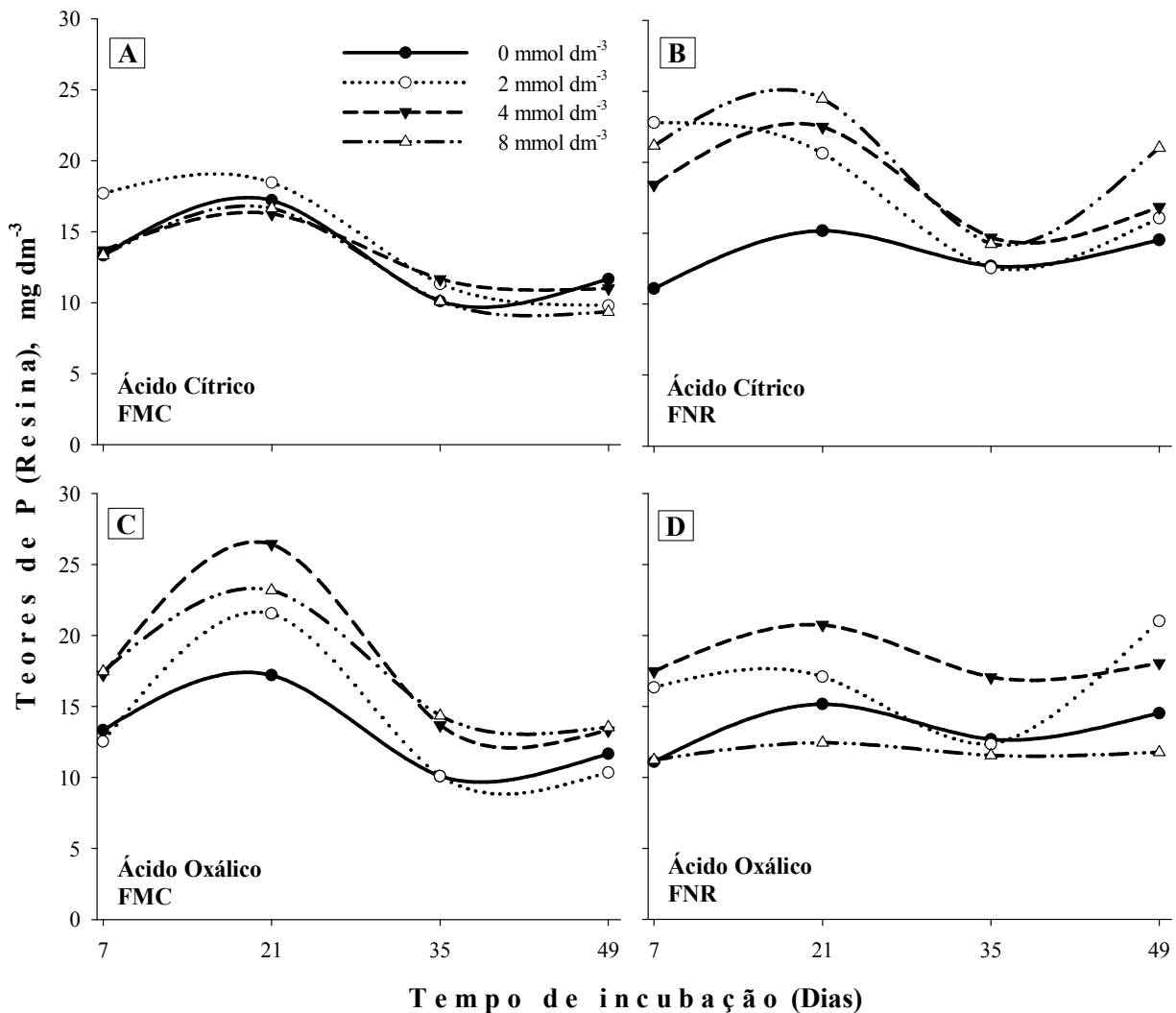


Figura 2.4 – Efeito do tempo de incubação e doses de ácido cítrico (A e B) e ácido oxálico (C e D) no teor de P disponível avaliado pela resina, no LVA para as fontes FMC e FNR

No solo de baixa capacidade de adsorção de P a adição de AC aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) o teor de P disponível para a fonte FNR, após 7 e 21 dias de incubação, um exemplo neste sentido, foi a variação de $11,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P sem aplicação de AC para $24,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P na dose de 8 mmol dm^{-3} de AC, respectivamente (Tabela 2.3). No entanto, para a fonte de P de elevada solubilidade em água, não houve resposta a aplicação de AC exceto na dose de 2 mmol dm^{-3} de AC aos 7 dias (Tabela 2.3 e Figura 2.4A). Quando comparado as fontes de P após a adição de AC, observa-se que na maioria das doses de AC utilizadas o teor de P disponível foi maior para o FNR em relação ao FMC (Tabela 2.3). Estes resultados são similares aos encontrados por Bolan et al., (1994) os quais observaram que o aumento na

quantidade de P absorvido pelas plantas foi de 27 % para fonte fosfato natural e de 10 % para o fosfato monocálcico após adição de ácido cítrico.

Ao contrário do observado para o AC, a adição de 4 e 8 mmol dm⁻³ de AO aumentou ($P \leq 0,05$) o teor de P disponível para a fonte FMC nos períodos de 7 e 21 dias de incubação. Este aumento foi de 31 % e 35 % para a maior dose de AO nestes períodos, respectivamente. Bhatti et al., (1998) observaram que a adsorção do fosfato do solo diminuiu na presença de oxalato. Entretanto, o mesmo não foi observado para a fonte FNR, não havendo resposta na maioria das doses utilizadas (Tabela 2.3). De forma geral após a adição de ácido oxálico, a disponibilidade de P para a fonte FMC foi maior que FNR. Hue (1991) verificou aumento na disponibilidade de P dos fertilizantes fosfatados solúveis em água, após a adição de ácidos orgânicos. Kirk e Nye (1986) atribui este efeito a diferença de dissolução destas fontes no solo, uma vez que, o FMC é rapidamente solubilizado, já a dissolução do fosfato natural, depende do fornecimento de H⁺ e do poder de complexação dos ácidos para remover os produtos da dissolução, sendo este efeito menos evidente para o ácido oxálico (KIRK; NYE, 1986, ROBINSON; SYERS, 1990).

Avaliando o comportamento dos ácidos cítrico e oxálico no solo de baixa capacidade de adsorção (LVA), observa-se de modo geral que, nos três períodos de incubação os teores de P disponível no solo para a fonte fosfato natural, após adição de AC foi maior em comparação ao ácido oxálico (Tabela 2.3). Já para a fonte FMC ocorre o inverso, com maiores teores de P quando adicionou-se AO. Estes resultados sugerem que além da participação do AC na redução da adsorção de P, este atua também no aumento da solubilização dos FNR. Kpombrekou-A e Tabatabai (1994) estudando a eficiência de 19 ácidos orgânicos de baixa massa molecular na liberação de P de fosfatos naturais, mostraram que as reações envolvidas nos processos de liberação de P não são somente dependentes de pH, mas também relacionadas com as características estruturais dos ácidos orgânicos. Os ácidos orgânicos tricarbóxicos (ácido cítrico) apresentam maior número de grupos funcionais, como o OH e o COOH, isto confere maior constante de estabilidade e elevado poder de complexação o que favorece a remoção do Ca²⁺ dos fosfatos naturais aumentando assim sua dissolução. A taxa de dissolução de fosfatos na solução do solo na presença de ácidos orgânicos como o malato, citrato e oxalato, chega a aumentar a concentração de P na solução de 10 a 1.000 vezes, dependendo não só do tipo de solo e da forma de P, mas também da concentração de ácidos orgânicos no solo (FOX; COMERFORD; MCFEE, 1990; GERKE, 1994).

Tabela 2.3 – Efeito de fontes de P, fontes e doses de AOBM no teor de P-resina disponível no solo LVA, aos 7; 21; 49 dias de incubação

Fontes de AOBM	Fontes de P	P-resina (mg dm ⁻³)			
		Doses de Ácidos Orgânicos (mmol dm ⁻³)			
		0	2	4	8
-----Tempo de Incubação (7 Dias) -----					
Ácido Cítrico	FMC	13,3 Ba ⁽¹⁾ a	17,7 Ab a	13,7 ABb b	13,3 Bb b
	FNR	11,1 Ca a	22,8 Aa a	18,4 Ba a	21,1 ABa a
Ácido Oxálico	FMC	13,3 Ba a	12,5 Bb b	17,2 Aa a	17,5 Aa a
	FNR	11,1 Ba a	16,3 Aa b	17,5 Aa a	11,2 Bb b
-----Tempo de Incubação (21 Dias) -----					
Ácido Cítrico	FMC	17,2 Aa a	18,5 Aa a	16,3 Ab b	16,6 Ab b
	FNR	15,2 Ba a	20,6 Aa a	22,5 Aa a	24,5 Aa a
Ácido Oxálico	FMC	17,2 Ba a	21,6 ABa a	26,4 Aa a	23,2 Aa a
	FNR	15,2 Ba a	17,1 ABb a	20,7 Ab a	12,4 Bb b
-----Tempo de Incubação (49 Dias) -----					
Ácido Cítrico	FMC	11,7 Aa a	9,8 Ab a	11,0 Ab a	9,4 Ab b
	FNR	14,5 Ba a	16,1 Ba b	16,8 ABa a	21,0 Aa a
Ácido Oxálico	FMC	11,7 Aa a	10,3 Ab a	13,3 Ab a	13,5 Aa a
	FNR	14,5 BCa a	21,0 Aa a	18,0 ABa a	11,8 Ca b

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de Ac. Org. para cada fonte de P e fonte de Ac. Org.; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose e fonte de Ac. Org.; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de Ac. Org. para cada fonte de P e dose de Ac. Org. FMC: fosfato monocalcico; FNR: fosfato natural de Arad.

Dentre os fatores que influenciam a participação dos ácidos orgânicos na disponibilidade de P, destaca-se a capacidade de adsorção de P do solo, que está relacionada a quantidade e principalmente tipo de argila. Por meio das curvas de adsorção e pelo ajuste da equação da isoterma de Langmuir foi possível calcular a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) dos solos estudados (Figura 2.1), este resultado indicou que o LV apresenta elevada capacidade de adsorção de P com valor de 1238 mg kg⁻¹ de P, sendo três vezes maior do que para o LVA. Esta característica reduziu o efeito dos AOBM no teor de P disponível no solo LV, quando comparado ao solo com baixa capacidade de adsorção (Figuras 2.4 e 2.5). Andrade et al., (2003) verificaram que, em solos com elevado teor de argila e, conseqüentemente, grande superfície de adsorção, os ácidos orgânicos aplicados não foram suficientes para bloquear os sítios de adsorção de P. Neste

caso, os autores consideram que a forma mais eficiente de reduzir a adsorção de P, é pela ligação por meio da troca de ligantes, entre P e ácidos orgânicos.

De acordo com a Figura 2.5A, observa-se que não houve efeito das doses de AC no teor de P disponível para a fonte fosfato monocálcico no LV, em todos os períodos avaliados. Estes resultados sugerem que devido a elevada solubilidade desta fonte, as formas solúveis de P (H_2PO_4^- e HPO_4^-) prontamente disponíveis é rapidamente adsorvidas por troca de ligantes na superfície dos óxidos de Fe e Al ou podem formar compostos de baixa solubilidade com Fe e Al na solução do solo. Neste sentido, Andrade et al. (2003) observaram que solo de textura muito argilosa apresentou menores valores na concentração de P na solução, após a adição de ácidos orgânicos, sendo explicado pela sua maior capacidade máxima de adsorção de fosfato.

Devido a baixa solubilidade do fosfato natural o que causa lenta liberação de P, os processos de adsorção são minimizados, tendo em vista que, antes é necessário ocorrer sua solubilização. Entretanto, a adição de AC aumentou a solubilidade do FNR refletindo no teor de P disponível após 7 dias de incubação. Com o passar do tempo (21 e 35 dias) os ácidos orgânicos são degradados, ocorrendo assim a adsorção do P solubilizado, reduzindo sua disponibilidade (Figura 2.5B). É importante ressaltar que a adsorção de P foi somente retardada, mas não inibida, pela presença do AC. Esse retardamento na adsorção pode resultar em melhor absorção e aproveitamento do P pelas plantas ao longo dos ciclos de cultivos conforme observado por Afif et al. (1995). Estes resultados evidenciam o comportamento do fosfato natural em solos com elevada capacidade de adsorção, após a adição de ácido cítrico. Inicialmente ocorre a solubilização desta fonte elevando o teor de P, em seguida os sítios de adsorção que não foram bloqueados pelo ácido cítrico adsorvem o fosfato da solução do solo. Bolan et al. (1994) sugerem que na presença de ácidos orgânicos, o P liberado do fosfato natural reativo torna-se mais disponível do que o P solubilizado da dissolução imediata do fosfato monocálcico, devido a rápida adsorção deste no solo.

Assim como ocorreu para o ácido cítrico a adição de doses de AO não aumentou o teor de P disponível para a fonte FMC no LV (Figura 2.5C). Este resultado demonstra que, nas doses utilizadas o AO não reduziu a adsorção de P da fonte solúvel neste solo. Considerando que este solo apresenta elevada capacidade de adsorção de P, a interação entre o P prontamente disponível e os óxi-hidróxidos de Fe e de Al, minimiza o efeito do AO em competir com o P pelos sítios de adsorção. Além disso, neste experimento o FMC foi adicionado na forma de pó o que conduz a

baixa concentração de P na zona de dissolução. Sob esta condição é provável que o P dissolvido dos fertilizante é rapidamente adsorvido no solo. Porém, normalmente os fertilizantes fosfatados são aplicados na forma de grânulos, e conseqüentemente é provável que a concentração de P na zona de dissolução seja maior para fertilizantes fosfatados solúveis em água do que para os fosfatos naturais (BOLAN et al., 1994). Já para a fonte FNR, houve pequeno aumento na disponibilidade de P após 49 dias de incubação (Figura 2.5D), provavelmente devido o efeito da solubilização lenta, o que confere maior efeito residual desta fonte.

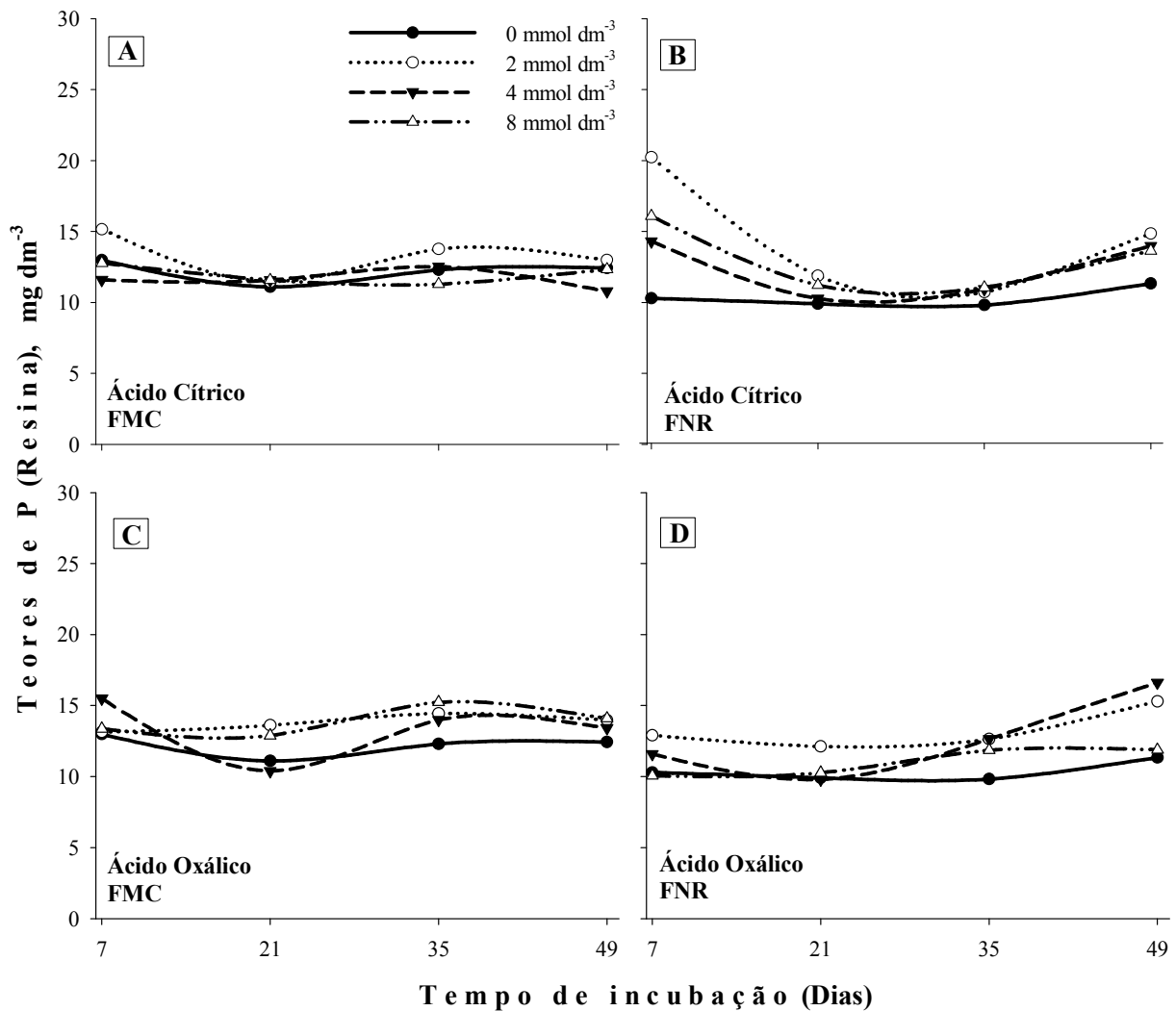


Figura 2.5 – Efeito do tempo de incubação e doses de ácido cítrico (A e B) e ácido oxálico (C e D) no teor de P disponível avaliado pela resina, no LV para as fontes FMC e FNR

As interações entre os fatores fontes e doses de AOBM e fontes de P, que influenciam o teor de P disponível para o solo LV, estão apresentadas nas Tabelas 2.4, 2.5 e 2.6. Considerando

a média das doses de ácidos orgânicos (AC e AO) utilizados, verifica-se que quando adicionou-se ácido cítrico, houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) na disponibilidade de P para a fonte FNR ($15,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) em comparação ao FMC ($13,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) aos 7 dias de incubação (Tabela 2.4). Entretanto, para o AO ocorreu o inverso com maior efeito no teor de P disponível para a fonte FMC. Comparando as fontes de ácido orgânico para cada fonte de P, observa-se que o teor de P para o fosfato natural após a adição de AC é maior em relação ao ácido oxálico. Estes resultados são similares ao encontrado para o solo de baixa capacidade de adsorção de P (LVA). Resultados semelhantes foram encontrados por Bolan et al., (1994), entretanto, os autores relatam que não existe razões claras para esta diferença entre as fontes de fertilizantes (FMC e FNR) e o efeito dos ácidos orgânicos na solubilização do fosfato. Por outro lado, segundo Stevenson (1994), a disposição das cargas do ácido cítrico, em que o grupamento OH está no meio da molécula ao lado de um dos grupamentos COOH, favorece sua interação com a fração mineral do solo, podendo formar quelatos e neutralizar, de forma mais estável, os sítios de adsorção do solo, além disso poderia favorecer a dissolução dos fosfatos naturais. Já o ácido oxálico, embora apresente maior densidade de carga, abrange apenas grupamentos COOH, mais difíceis de participar das reações do que os grupamentos OH do ácido cítrico quando essas reações ocorrem. Andrade et al. (2003) observaram maior disponibilidade de P para o ácido cítrico em comparação ácido oxálico em dois Latossolos.

Tabela 2.4 – Efeito de fontes de P e fontes de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM no teor de P disponível no solo LV aos 7 dias de incubação

Fontes de AOBM	Fontes de P	
	FMC	FNR
	P-resina (mg dm^{-3})	
Ácido Cítrico	13,1 Ba ⁽¹⁾	15,2 Aa
Ácido Oxálico	13,7 Aa	11,2 Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as fontes de P e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de Ac. Org.; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad.

De acordo com a Tabela 2.5 na média das fontes de ácidos orgânicos, não houve efeito de doses no teor de P disponível para a fonte FMC, no solo LV aos 7 dias de incubação. Este resultado sugere que para a fonte de P de elevada solubilidade as doses utilizadas não reduziu a adsorção de P neste solo. Entretanto, quando utilizado FNR houve efeito significativo para o teor de P disponível, na dose de 2 mmol dm^{-3} de ácidos orgânicos, diferindo também do FMC nesta

dose. Quando comparado as fontes de ácidos orgânicos, verifica-se que para as doses de 2 e 8 mmol dm^{-3} a disponibilidade de P foi maior para o AC em comparação ao ácido oxálico (Tabela 2.6). Hue (1991) observou que doses superiores a 2 mmol dm^{-3} de ácido málico, aumentou o teor de P disponível em solos que recebeu fosfato monocálcico.

Tabela 2.5 – Efeito de fontes de P e doses de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM no teor de P disponível no solo LV aos 7 dias de incubação

Fontes de P	Doses de Ácidos Orgânicos (mmol dm^{-3})			
	0	2	4	8
	P-resina (mg dm^{-3})			
FMC	13,0 Aa ⁽¹⁾	14,1 Ab	13,5 Aa	13,1 Aa
FNR	10,3 Bb	16,6 Aa	13,0 Ba	13,1 Ba

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de Ac. Org. e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad.

Tabela 2.6 – Efeito de fontes e doses de ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM no teor de P disponível no solo LV aos 7 dias de incubação

Fontes de AOBM	Doses de Ácidos Orgânicos (mmol dm^{-3})			
	0	2	4	8
	P-resina (mg dm^{-3})			
Ácido Cítrico	11,6 Ba ⁽¹⁾	17,7 Aa	13,0 Ba	14,4 Ba
Ácido Oxálico	11,6 Aa	13,0 Ab	13,5 Aa	11,7 Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de Ac. Org. e Letras minúsculas na coluna comparam as fontes de Ac. Org.

Efeitos das fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível

O condicionador orgânico é um produto a base de substâncias húmicas, sendo o mesmo extraído da TF. Os ácidos húmicos foram caracterizados por espectroscopia na região do infravermelho, e as bandas do espectro indicaram a presença de OH de grupamentos carboxílicos e fenólicos, álcoois e água, além de C-H de hidrocarbonetos alifáticos e C=O de COO⁻ aromáticos, cetonas e aldeídos (Figura 2.3 e Tabela 2.2). Estes grupamentos orgânicos dos ácidos húmicos interagem com a fração mineral do solo com potencial para reduzir a adsorção de P. A capacidade dos ácidos húmicos em competir com P pelos sítios de adsorção, aumenta em pH baixo, com a máxima adsorção no solo em pH entre 4,0 e 5,0 e está diretamente relacionada com o número de grupos carboxílicos (COOH) do composto orgânico (HENG, 1989).

Os teores de P avaliados pela resina em função do tempo de incubação e fontes de substâncias húmicas (TF e CO) estão apresentados na Figura 2.6. De forma geral, a disponibilidade de P para as fontes FMC e FNR aumentou após a adição de TF e CO no solo de baixa capacidade de adsorção (LVA). Vale ressaltar que as diferenças observadas no aumento do teor de P disponível após a adição da TF, não é devido ao P presente neste material, conforme observado nos tratamentos controles com doses de TF sem adição de P (Tabelas 2 a 5 do Apêndice A).

Para a fonte de elevada solubilidade em água (FMC) verifica-se que o teor de P disponível aumentou após a adição de TF aos 7 dias de incubação, entretanto, este efeito diminuiu com o tempo (Figura 2.6A). Estes resultados sugerem que, os ácidos húmicos oriundos da TF competem com o P pelos sítios de adsorção em solos com baixa capacidade adsorção de P. Andrade et al. (2003) verificaram que, a aplicação de ácidos húmicos, mediante a competição pelos sítios de adsorção de P no solo diminuiu a adsorção e precipitação de P, conseqüentemente aumentou a concentração de P na solução de equilíbrio. Após 7 dias de incubação a disponibilidade de P diminuiu (Figura 2.6A), sendo duas as hipóteses que podem explicar este efeito, (i) a primeira relacionado a degradação dos ácidos húmicos e a readsorção do P solubilizado. Guppy et al. (2005) demonstraram que, os ácidos húmicos e fúlvicos diminuíram a adsorção de P de 27 a 63 % em Latossolos, quando avaliado logo após a aplicação dos ácidos no solo, no entanto, após 10 dias a eficiência de competição foi reduzida, possivelmente pela degradação desses ácidos pelos microrganismos; (ii) a segunda pela participação dos ácidos húmicos e fúlvicos como superfícies de adsorção de P. Para que essa adsorção ocorra, é necessária a formação de pontes metálicas entre o composto orgânico e o P, nesse caso, o Fe e Al ou outros cátions do solo, podem agir favorecendo a complexação de P com compostos orgânicos. Segundo Guppy et al., (2005) a propensão dos ácidos húmicos em adsorver P está diretamente relacionada com o conteúdo de Fe e Al do solo. Heng (1989) demonstrou que a reação dos metais com os ácidos húmicos ou fúlvicos aumenta consideravelmente a adsorção de P e restringe o processo de ciclagem deste nutriente no solo. Pushparajah (1998) sugere que, em solos altamente intemperizados, a sorção de P pelos ácidos húmicos e fúlvicos pode ajudar a minimizar os problemas associados com a alta adsorção de P, por meio da lenta mineralização desses complexos.

De acordo com a Figura 2.6B, a disponibilidade de P para a fonte FNR aumentou após adição de TF aos 7 dias de incubação, com maiores efeitos nas maiores doses. Verifica-se ainda

que o teor de P disponível diminuiu com tempo, mas se manteve superior para maioria das doses de TF utilizadas, em comparação a não adição de TF. Considerando o solo de baixa capacidade de adsorção de P, a aplicação de dose de TF equivalente a 80 t ha^{-1} , aumentou o teor de P para a fonte FNR até aos 21 dias de incubação (Figura 2.6B). Estes resultados demonstram que, existe um efeito sinérgico quando a TF é adicionada junto com o FNR, refletindo no teor de P disponível desta fonte. Reddy et al. (1999) verificaram que o teor de P disponível foi maior quando o fosfato natural foi aplicado junto com a matéria orgânica do que a aplicação deste isoladamente. Isto pode ser explicado pelo fato de que, os grupamento carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH) dos ácidos húmicos oriundos da matéria orgânica, podem liberar H^+ , o que aumenta a solubilidade do fosfato natural. Além disso, os compostos orgânicos podem complexar Ca^{2+} , favorecendo a dissolução das fontes de baixa solubilidade em água. Segundo Sposito (1989) os grupos carboxílicos desses ácidos podem dissociar-se liberando seus prótons facilmente em ampla faixa de pH do solo, os mesmos podem atacar a superfície dos minerais do solo, promovendo sua dissolução ou participar de reações de solubilização do FNR.

Para a fonte de elevada solubilidade em água, a aplicação de CO de solo a base de substâncias húmicas, aumentou o teor de P disponível no solo de baixa capacidade de adsorção (Figura 2.6C). Assim como observado após a aplicação de TF, com o passar do tempo de incubação a disponibilidade de P diminuiu também para o CO. Entretanto, verifica-se que, os menores teores de P nos períodos avaliados foram quando não se adicionou CO. Tendo em vista que, no CO os ácidos húmicos encontram-se prontamente disponível para reagir com a superfície de adsorção do solo, os efeitos nos teores de P disponível para a fonte FMC foram mais evidentes quando comparado a TF. Estes resultados sugerem que, os ácidos húmicos contidos no CO reduziram a adsorção de P neste solo, pela formação de complexos estáveis com cátions metálicos ou pelo recobrimento da superfície de adsorção dos óxidos de Fe e Al, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente. Estes resultados estão de acordo aos encontrados por Andrade (2001), que demonstrou que os ácidos húmicos foram consistentes em diminuir a intensidade do fenômeno de adsorção de P. Segundo Stevenson e Fitch (1986) este efeito pode estar relacionado ao grande poder de capeamento da fração mineral pelos ácidos húmicos. Neste caso, quando se adiciona uma fonte de P com elevada solubilidade ao solo, para evitar que processos de adsorção diminua a disponibilidade de P é necessário que a fonte de ácido húmico,

esteja prontamente disponível para reagir rapidamente com os óxidos de Fe e Al, bloqueando os sítios de adsorção.

Avaliando o efeito da adição de CO no teor de P disponível para a fonte FNR, é possível perceber que os maiores teores ocorreram aos 7 dias de incubação (Figura 2.6D), no entanto, com passar do tempo, este efeito diminui. O aumento na disponibilidade de P do FNR pode estar relacionado principalmente ao elevado poder de complexação dos ácidos húmicos pelo Ca, o que favorece a dissolução do fosfato natural, mas com passar do tempo este efeito diminui, devido sua degradação. Além disso, os ácidos húmicos podem formar complexos com Fe e Al, diminuindo a precipitação do P e a formação de compostos de baixa solubilidade. Sibanda e Young (1986) verificaram que, a eficiência dos ácidos orgânicos não se deve, exclusivamente, à adsorção dos grupos carboxílicos, mas é preciso considerar também o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção/precipitação de fosfato.

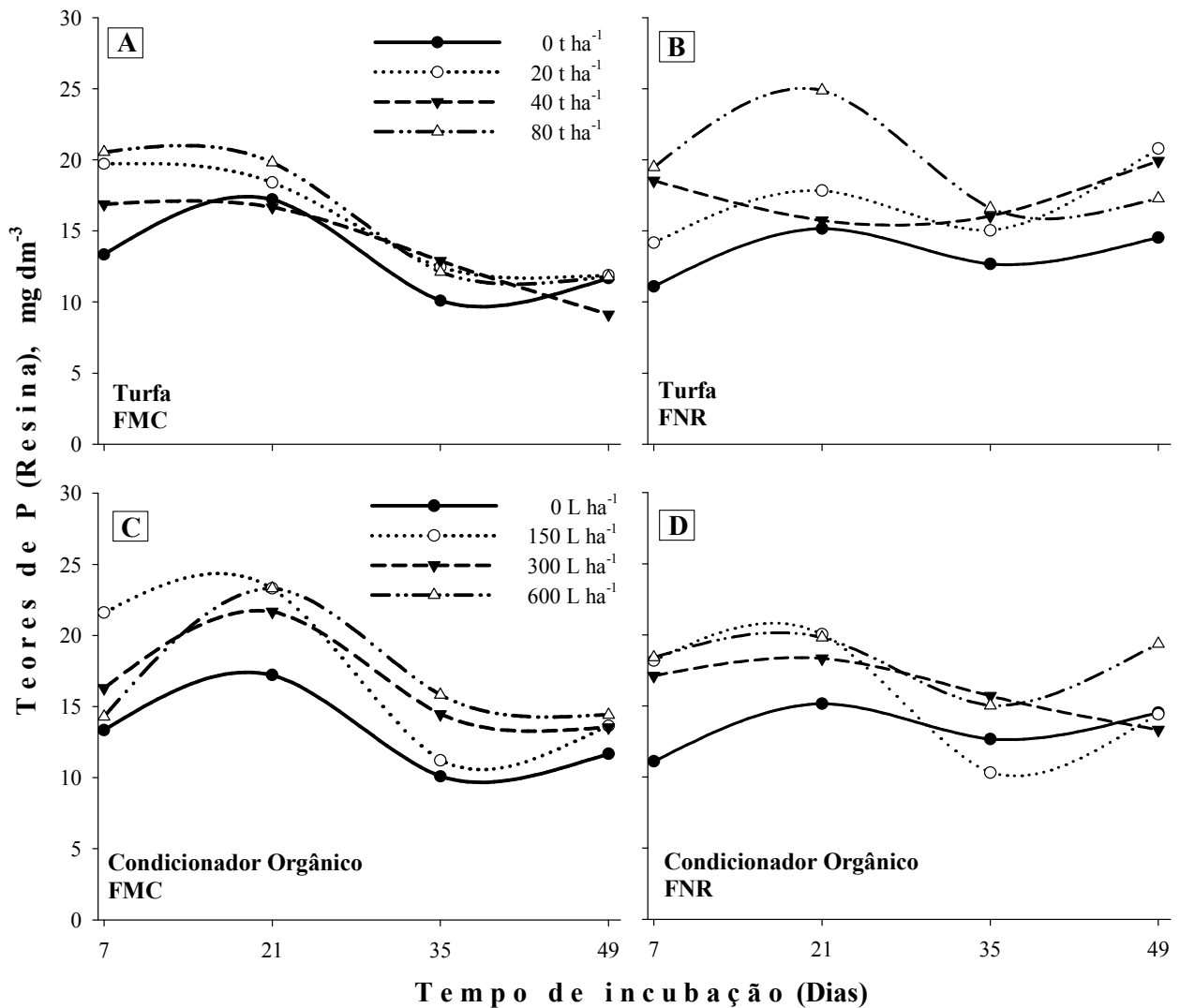


Figura 2.6 – Efeito do tempo de incubação e doses de turfa (A e B) e condicionador orgânico (C e D) no teor de P disponível avaliado pela resina, no LVA para as fontes FMC e FNR

A interação entre os efeitos das fontes de P, doses de TF e CO, no teor de P disponível no solo LVA, após 7 dias de incubação, está apresentada na Tabela 2.7. Verifica-se que, o aumento na disponibilidade de P para as fontes FMC e FNR foi significativo ($P \leq 0,05$) para todas as doses utilizadas, levando-se em conta as fontes de substâncias húmicas. Um exemplo neste sentido, foram os aumentos de 30 % e 70 % para as fontes FMC e FNR, respectivamente, nas maiores doses. Stevenson (1994), observou que, quando se aumenta a dose de ácidos húmicos, aumenta-se a competição pelos sítios de adsorção de fosfato ou a formação de complexos ácidos húmicos-fosfato, o que reduz a adsorção de P aumentando a concentração de fosfato na solução.

Comparando as fontes de P, observa-se que, não houve diferença entre FMC e FNR para todas as doses, exceto na dose equivalente a 20 t ha⁻¹ e 150 L ha⁻¹, para TF e CO respectivamente, em que o teor de P disponível foi maior para o FMC do que para o FNR (Tabela 2.7). Estes resultados sugerem que, na menor dose, o efeito dos ácidos húmicos em competir com o P pelos sítios de adsorção foi mais significativo do que a participação destes na dissolução do fosfato natural, tendo em vista que o FMC ao ser solubilizado poderia rapidamente ser adsorvido por troca de ligantes na superfície dos óxidos de Fe e Al, no entanto, os ácido húmicos competiram com o P pelos sítios de adsorção reduzindo sua adsorção. Heng (1989) observou que, a adição de pequenas quantidades de ácidos húmicos e fúlvicos, refletindo condições de campo, reduziu a adsorção de P (em torno de 10 %) em cinco solos altamente intemperizados da Malásia.

Tabela 2.7 – Efeito de fontes de P e doses de fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível no solo LVA aos 7 dias de incubação

Fontes de P	P-resina (mg dm ⁻³)			
	Doses ⁽¹⁾			
	0	1	2	3
FMC	13,3 Ca ⁽²⁾	20,7 Aa	16,6 Ba	17,4 ABa
FNR	11,1 Ba	16,2 Ab	17,8 Aa	18,9 Aa

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 e 3 correspondem a 0; 20; 40; 80 t ha⁻¹ para a TF e 0; 150; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de CO e TF, letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

O efeito das doses e fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível para o solo LVA, considerando a médias das fontes de P, está apresentado na Tabela 2.8. A aplicação de TF e CO de solo aumentou significativamente (P≤0,05) a disponibilidade de P aos 7 dias de incubação para todas as doses utilizadas. Houve diferença entre as fontes de substâncias húmicas para as doses correspondentes a 20 e 80 t ha⁻¹ de TF e 150 e 600 L ha⁻¹ de CO, sendo que na menor dose o teor de P disponível foi maior para o CO em comparação a TF, já na maior dose ocorre o inverso. Como se sabe, os ácidos húmicos apresentam grande poder de capeamento da fração mineral. Nesse sentido, Fontes (1990) observou que os complexos entre ácidos húmicos e goethita reduziram a adsorção de fosfato, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente.

Tabela 2.8 – Efeito de fontes de substâncias húmicas e doses de condicionador orgânico e turfa no teor de P disponível no solo LVA aos 7 dias de incubação

Fontes de SH	P-resina (mg dm ⁻³)			
	Doses ⁽¹⁾			
	0	1	2	3
TF	12,2 Ba ⁽²⁾	16,9 Ab	17,7 Aa	20,0 Aa
CO	12,2 Ba	19,9 Aa	16,7 Aa	16,3 Ab

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 e 3 correspondem a 0; 20; 40; 80 t ha⁻¹ para a TF e 0; 150; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de CO e TF, letras minúsculas na coluna comparam as fontes de SH; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

A disponibilidade de P aos 35 dias de incubação para o solo LVA, considerando a média das doses de TF e CO utilizadas, encontra-se na Tabela 2.9. Comparando as fontes de P para cada fonte de substâncias húmicas, observa-se que o efeito da TF em aumentar o teor de P disponível foi maior para o FNR (15,1 mg dm⁻³) em comparação ao FMC (11,9 mg dm⁻³). Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que, os ácidos húmicos oriundos da TF atua na solubilização do fosfato natural, por meio do fornecimento de H⁺ e complexação dos produtos da dissolução, favorecendo a reação que libera o P desta fonte. Kpombrekou-A e Tabatabai (1994), verificaram que a solubilidade dos fosfatos naturais em ácidos orgânicos foi afetada por estrutura química, tipo e posição dos grupos funcionais dos ligantes. Estes autores sugerem que a associação metal com P nos fosfatos naturais é quelatizada por mecanismos que envolve grupos funcionais tais como ligantes carboxílicos ou hidroxílicos, presentes nos ácidos húmicos.

Tabela 2.9 – Efeito de fontes de P e fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível no solo LVA aos 35 dias de incubação

Fontes de SH	Fontes de P	
	FMC	FNR
	P-resina (mg dm ⁻³)	
TF	11,9 Ba ⁽¹⁾	15,1 Aa
CO	12,9 Aa	13,4 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam as fontes de P e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de SH; FMC: fosfato monocalcico e FNR: fosfato natural de Arad.

A interação entre os fatores fontes de P, fontes de substâncias húmicas, doses de TF e CO que influenciam o teor de P disponível no solo LVA, foi significativa (P≤0,05) aos 21 e 49 dias

de incubação (Tabela 8 do Apêndice A). O desdobramento desta interação encontra-se na Tabela 13. O teor de P disponível para a fonte de elevada solubilidade (FMC), não diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) após adição de TF nos dois períodos avaliados. Já para a fonte FNR a disponibilidade de P aumentou apenas na maior dose de TF (80 t ha^{-1}) aos 21 dias de incubação e com o passar do tempo (49 dias) houve efeito significativo para todas as doses de TF utilizadas (Tabela 2.10). Este resultado refletiu também na comparação entre as fontes de P, tendo em vista que, o teor de P disponível para a fonte FNR foi maior quando comparado ao FMC. O sinergismo entre a dissolução do fosfato natural e a liberação dos ácidos orgânicos pela TF, que competem com P pelos sítios de adsorção podem explicar estes resultados. Toor e Bahl, (1997) observaram que, ao adicionar matéria orgânica e fertilizante fosfatado juntos, um efeito sinérgico ocorreu aumentando o teor de P disponível.

A aplicação de doses de CO no solo de baixa capacidade de adsorção aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) o teor de P disponível para as fontes FMC e FNR após 21 dias de incubação (Tabela 2.10). Um exemplo neste sentido, foi o aumento de 31 e 35 % para as fontes FMC e FNR, respectivamente, para a dose correspondente a 150 L ha^{-1} . Entretanto, após 49 dias de incubação só houve efeito na maior dose (600 L ha^{-1} de CO), com aumento de 23 e 34 % para as fontes FMC e FNR, respectivamente. Estes resultados demonstram que, os ácidos húmicos no CO estão prontamente disponível, sendo mais eficiente em competir com o P pelos sítios de adsorção até aos 21 dias de incubação. Segundo Pavinato e Rosolem (2008) os ácidos húmicos e fúlvicos, por serem compostos mais estáveis e de longa persistência no solo, podem competir pelos sítios de adsorção, e disponibilizar alguns nutrientes aniônicos. Comparando as fontes de P, após adição de CO, observa-se que o teor de P disponível para a fonte FMC foi maior do que para a fonte FNR em todas as doses utilizadas aos 21 dias de incubação. Estes resultados estão relacionados a elevada solubilidade do FMC e a redução na adsorção de P pelos ácidos húmicos, o que leva ao aumento da disponibilidade deste nutriente. Segundo Kafkafi et al., (1988) vários estudos tem demonstrado a participação dos ácidos orgânicos na redução da adsorção de P, sendo capaz de trocar com P pelos sítios de adsorção, resultando em maior concentração de P disponível.

Considerando as características das fontes de substâncias húmicas utilizadas, em que a liberação dos ácidos húmicos da TF ocorre de forma mais lenta, e para o CO os mesmos encontram-se prontamente disponível para interagir com a fração mineral do solo, o

comportamento destes nos solos ocorre de forma diferente, dependendo da capacidade de adsorção de P do solo. Neste contexto, comparando as fontes de substâncias húmicas para cada fonte de P, observa-se que a disponibilidade de P para a fonte de elevada solubilidade (FMC) foi maior para o CO em relação a TF. Entretanto, para a fonte de baixa solubilidade (FNR), este efeito se inverte, com maior teor de P disponível após a adição de TF. Estes resultados, indicam que para reduzir a adsorção de P da fonte prontamente disponível, os ácidos húmicos precisam ocupar rapidamente os sítios de adsorção, tendo em vista que os processo de adsorção começa ocorrer após poucas horas da adição do P ao solo. Por outro lado, a combinação de FNR e fontes de substâncias húmicas, promove a dissolução desta fonte, sincronizando com a saturação dos sítios de adsorção.

Tabela 2.10 – Efeito de fontes de P, fontes de substâncias húmicas e doses de condicionador orgânico e turfa no teor de P disponível no solo LVA, aos 21 e 49 dias de incubação

Fontes de SH	Fontes de P	P-resina (mg dm ⁻³)			
		Doses ⁽¹⁾			
		0	1	2	3
-----Tempo de Incubação (21 Dias)-----					
TF	FMC	17,2 Aa ⁽²⁾ a	18,4 Aa b	16,7 Aa b	19,8 Ab b
	FNR	15,2 Ba a	17,8 Ba a	15,7 Ba a	24,9 Aa a
CO	FMC	17,2 Ba a	23,3 Aa a	21,7 Aa a	23,3 Aa a
	FNR	15,2 Ba a	20,0 Ab a	18,3 Ab a	19,8 Ab b
-----Tempo de Incubação (49 Dias)-----					
TF	FMC	11,7 Aa a	11,9 Ab b	9,1 Ab b	11,8 Ab b
	FNR	14,5 Ca a	20,8 Aa a	19,9 Aa a	17,3 Ba b
CO	FMC	11,7 Ba a	13,6 ABa a	13,5 ABa a	14,4 Ab a
	FNR	14,5 Ba a	14,4 Ba b	13,3 Ba b	19,4 Aa a

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 e 3 correspondem a 0; 20; 40; 80 t ha⁻¹ para a TF e 0; 150; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de CO e TF para cada fonte de P e fonte de SH; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de CO e TF e fonte de SH; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de SH para cada fonte de P e dose de CO e TF; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

O efeito das doses e fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível, em função do tempo de incubação no solo de elevada capacidade de adsorção (LV), está apresentado na Figura

2.7. A aplicação de doses de TF não afetou o teor de P disponível para fonte FMC no solo LV em nenhum dos tempos de incubação avaliados (Figura 2.7A). Estes resultados, sugerem que, devido a liberação lenta dos ácidos húmicos contidos na TF e a elevada capacidade de adsorção de P deste solo, quando a fonte prontamente solúvel é adicionada ao solo, rapidamente começam a ocorrer os processos de adsorção, não havendo tempo suficiente para que os ácidos húmicos possam bloquear os sítios de adsorção. Andrade et al., (2003) verificou que no solo de textura argilosa (LV), para as formas de aplicação dos ácidos húmicos, não se observou diferença entre as doses quando o P foi analisado. Outro aspecto a ser considerado, que explica a maior adsorção de P neste solo para a fonte FMC, é a aplicação na forma de pó, o que favorece os processos de adsorção, apesar de que convencionalmente as fontes solúveis são utilizadas na forma granulada.

Para a fonte de baixa solubilidade em água (FNR), a adição de TF no solo LV influenciou o teor de P disponível, com maior efeito para as maiores doses com o passar do tempo (Figura 2.7B). O aumento na disponibilidade de P neste solo para a fonte FNR na presença de TF pode ser explicado pelo sincronismo entre a liberação de ácidos húmicos e a dissolução do fosfato natural. Isto se deve a liberação de H^+ dos ácidos húmicos e complexação do Ca o que favorece a dissolução desta fonte. Associado a isto, os ácidos húmicos podem competir com o P pelos sítios de adsorção e formar complexos estáveis com Fe e Al na solução do solo, aumentando assim o P disponível. Sibanda e Young, (1986) verificaram o efeito da competição entre ácidos húmicos e P nos solos tropicais, sendo que o aumento de 0,72 para 3,0 dag kg^{-1} de ácidos húmicos, teve redução significativa na adsorção de P. Entretanto, este efeito não é atribuído exclusivamente à adsorção dos grupos carboxílicos aos sítios de adsorção de P, mas também a complexação de Fe e Al na solução dos solos pelos ácidos húmicos.

Ao contrario do que ocorreu para TF, a aplicação de CO de solo afetou a disponibilidade de P para a fonte FMC no solo de elevada capacidade de adsorção (Figura 2.7C). O aumento no teor de P disponível ocorreu principalmente na maior dose de CO após 7 dias de incubação. Este resultado, comprova a hipótese de que os ácidos húmicos do CO encontram-se prontamente disponível para competir com o P pelos sítios de adsorção, sendo o seu efeito imediato. Diante disso, fica evidente que mesmo em solos com elevada capacidade de adsorção, a adição de ácidos húmicos podem aumentar o teor de P disponível. De acordo com Sposito, (1989), esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, em várias faixas de pH

diminuindo a adsorção de P nesses oxihidróxidos de Fe e Al, sendo um fator de grande importância em solos argilosos, com alto teor desses óxidos.

De acordo com a Figura 2.7D, a adição de CO aumentou o teor de P disponível para a fonte FNR após 35 dias de incubação, sendo que este efeito se estendeu até aos 49 dias para as maiores doses utilizadas. Este resultado, provavelmente pode estar relacionado a lenta solubilidade desta fonte de P, e a rápida redução na adsorção de P pelos ácidos húmicos presentes no CO. Isto demonstra que, ao ocorrer a dissolução do fosfato natural, parte dos sítos de adsorção já encontravam-se bloqueados pelos ácidos húmicos e com isso aumenta a disponibilidade de P com o passar do tempo. Por outro lado, a adsorção de compostos da matéria orgânica pode aumentar a carga negativa na superfície do solo, ou diminuir o ponto de carga zero (PCZ), tornando mais difícil a adsorção de P (GUPPY et al., 2005).

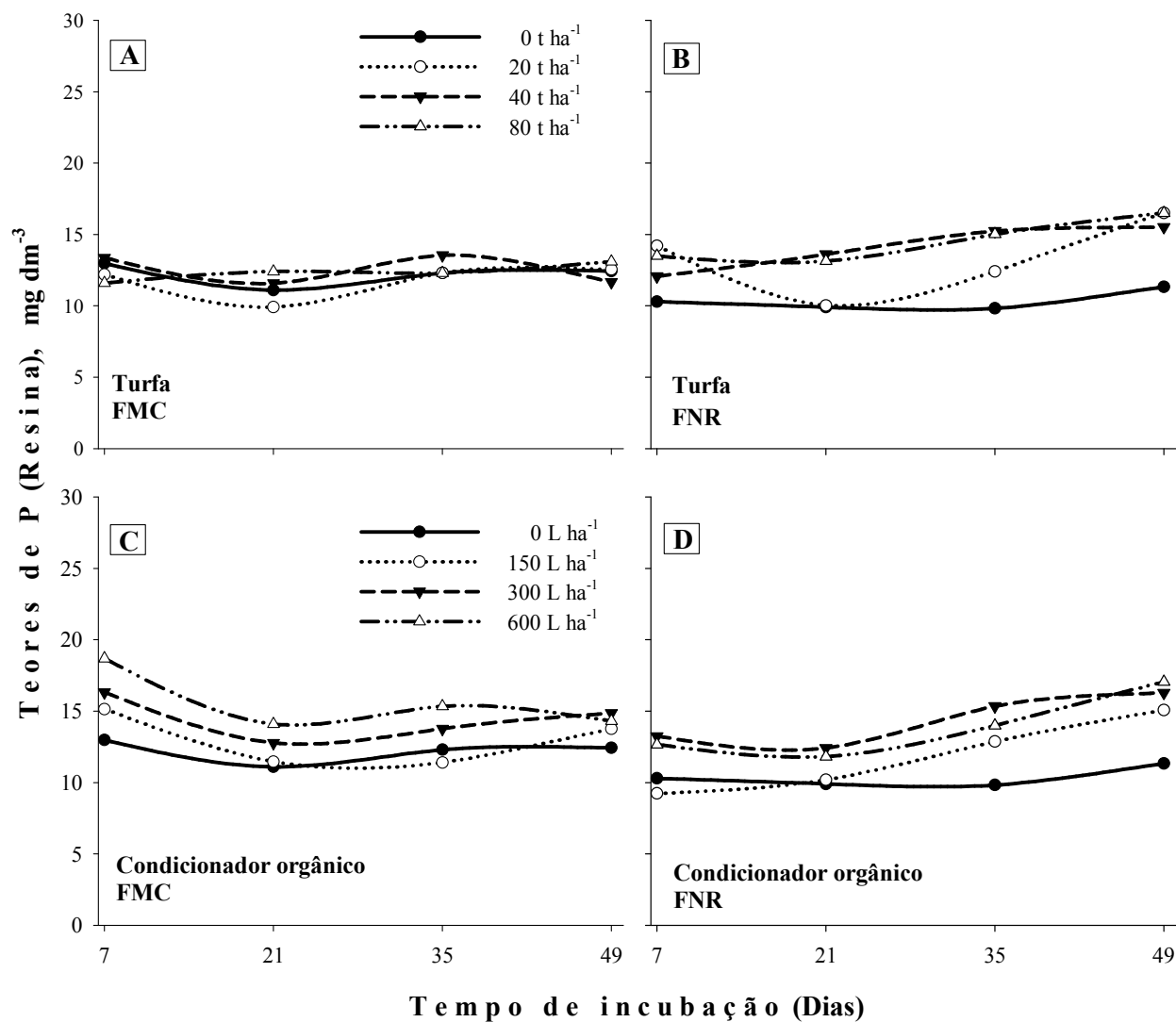


Figura 2.7 – Efeito do tempo de incubação e doses de turfa (A e B) e condicionador orgânico (C e D) no teor de P disponível avaliado pela resina, no LV para as fontes FMC e FNR

Para o solo de elevada capacidade de adsorção de P houve interação significativa (Tabela 9 do Anexo A) entre os fatores fontes de P, fontes de substâncias húmicas e doses de TF e CO apenas aos 7 dias de incubação. O desdobramento desta interação apresentado na Tabela 2.11 demonstra que, só houve efeito no teor de P disponível para dose equivalente a 20 t ha⁻¹ de TF e 600 L ha⁻¹, para as fontes FNR e FMC, respectivamente. Comparando as fontes de P verifica-se que, o teor de P avaliado pela resina foi maior para o FMC em relação ao FNR, após adição de CO (Tabela 2.11). Além disso, é possível observar que, a disponibilidade de P foi maior para o CO em comparação a TF, para fonte de elevada solubilidade. O aumento no P disponível pode

estar relacionado a redução na adsorção de P neste solo pelos ácidos húmicos, sendo este efeito mais evidente aos 7 dias de incubação para a fonte FMC.

De acordo com a Tabela 2.12 o teor de P disponível aumentou para a fonte FNR considerando a média das fontes de substâncias húmicas após 35 dias de incubação. O maior efeito para esta fonte de P foi observado para as doses equivalente a 40 t ha⁻¹ de TF e 300 L ha⁻¹ de CO com aumento de 56 % no teor de P disponível, diferindo estatisticamente ($P \leq 0,05$) da fonte FMC. Este resultado aos 35 dias de incubação pode estar relacionado a lenta solubilização da fonte FNR e a redução na adsorção de P, pela presença dos ácidos húmicos.

Tabela 2.11 – Efeito de fontes de P, fontes de substâncias húmicas, doses de turfa e condicionador orgânico no teor de P disponível no solo LV aos 7 dias de incubação

Fontes de SH	Fontes de P	P-resina (mg dm ⁻³)			
		Doses ⁽¹⁾			
		0	1	2	3
TF	FMC	13,0 Aa ⁽²⁾ a	12,2 Aa b	13,4 Aa b	11,6 Aa b
	FNR	10,3 Bb a	14,2 Aa a	12,1 ABa a	13,5 ABa a
CO	FMC	13,0 Ba a	15,1 ABa a	16,3 ABa a	18,7 Aa a
	FNR	10,3 ABb a	9,2 Bb b	13,2 Ab a	12,7 ABb a

⁽¹⁾As doses 0, 1, 2 e 3 correspondem a 0; 20; 40; 80 t ha⁻¹ para a TF e 0; 150; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ⁽²⁾Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de CO e TF para cada fonte de P e fonte de SH.; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de CO e TF e fonte de SH; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de SH para cada fonte de P e dose de CO e TF; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

Tabela 2.12 – Efeito de fontes de P e doses de doses de fontes de substâncias húmicas no teor de P disponível no solo LV aos 35 dias de incubação

Fonte de P	P-resina (mg dm ⁻³)			
	Doses ⁽¹⁾			
	0	1	2	3
FMC	12,3 Aa ⁽²⁾	11,8 Aa	13,7 Ab	13,8 Aa
FNR	9,8 Cb	12,6 Ba	15,3 Aa	14,5 ABa

⁽¹⁾As doses 0, 1, 2 e 3 correspondem a 0; 20; 40; 80 t ha⁻¹ para a TF e 0; 150; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de CO e TF, letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P; FMC: fosfato monocálcico e FNR: fosfato natural de Arad; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

2.5 Conclusões

A adição de ácidos orgânicos de baixa massa molecular e fontes de substâncias húmicas aumentou a disponibilidade de P, com maiores efeitos nos solos de baixa capacidade de adsorção de fósforo.

O ácido cítrico foi mais eficiente em aumentar a disponibilidade de P do fosfato natural reativo em comparação ao ácido oxálico.

O efeito dos ácidos húmicos oriundos da turfa ou do condicionador orgânico na disponibilidade de P do fosfato natural com o passar do tempo, pode se tornar um importante mecanismo para aumentar a eficiência agrônômica destes fertilizantes.

Referências

AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphatesorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, New Brunswick, v.159, p.207-211, 1995.

ANDRADE, F.V. **Ácidos orgânicos e adsorção de fosfato em latossolos**,.2001. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2001.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANDRADE, F.V. **ácidos orgânicos e sua relação com adsorção, fluxo difusivo e disponibilidade de fósforo em solos para plantas**. 2005. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

BARROS, M.C.P.; PAULA, J.R.; REZENDE, M.O.O. Caracterização físico-química do ácido húmico de solo da ilha de Cananéia e de sua interação com Fe (III), Cu (II) e Cd (II). **Química Nova**, São Paulo, v. 17, n. 5, p. 376-380, 1994.

BAR-YOSEF, B. Root excretion and their environmental effects: Influence on availability of phosphorus. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots: the hidden half** . New York: Marcel Dekker, 1996. p. 581-605.

BARROW, N.J. The reaction of anions and cations with soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 14, p.54-80, 1987.

BHATTI, J.S.; COMEFORD, N.B.; JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.62, p.1089-1095, 1998.

BOLAN, N.S.; NAIDU, R. MAHIMAIRAJA, S. BASKARAN, S. Influence of low molecular weight organic acids on the solubilisation of phosphates. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18. p. 311-319, 1994.

EASTERWOOD, G.W.; SARTAIN, J.B.; Clover residue effectiveness in reducing orthophosphate sorption on ferric hydroxide coated soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.1345-1350, 1990.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de Corretivos e Fertilizantes. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura: legislação e fiscalização**. Brasília, 2006. 127 p.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 412p.

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., 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTES, M.P.F. **Interactions of goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil**.1990. 75p. Tese de(Doutorado)- Raleigh, North Carolina State University, 1990.

FOX T.R.; COMERFORD, N.B. Low molecular weight organic acids in select forest soils of southeastern USA. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p.1139-1144, 1990.

FOX, T.R.; COMERFORD, N.B.; MCFEE, W.W. Phosphorus and aluminum release from a Spodic horizon mediated by organic acids. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p. 1763-1767, 1990.

GERKE, J. Kinetics of soil phosphate desorption as affected by citric acid. Z. **Pflanzenernähr. Bodenk**, Berlin, v.157, p. 17-22, 1994.

GEELHOED, J.S., VAN RIEMSDIJK, W.H., FINDENEGG, G.R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. por extensor **European Journal of Soil Science**, Bedfordshire, v.50, p.379-390, 1999.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p.189-202, 2005.

GRIFFITH, S. M.; SCHNITZER, M. Analytical Characteristics of Humic and Fluvic Acids Extracted from Tropical Volcanic Soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Morgantown, v. 39, p. 861-867, 1975.

HAYES, M.H.B.; MACCARTY, P.; MALCOLN, R.L. ;SWIFT, R.S. The search for the structure: setting the scene. In: HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. ;SWIFT, R.S. (Ed.). **Humic substances II**. In search for the structure. Chichester, 1989. p.689-733.

HENG, L.C. Influence of some humic substances on P-sorption in some Malaysian soils under rubber. **J. Nature Rubber Research**, Hevea, v. 4, p.186-194, 1989.

HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, New Brunswick, v. 152, p.463-471, 1991.

INOUE, K.; HUANG, P.M. Influence of selected organic ligands on the formation of allophane and imogolite. . **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1623-1633, 1986.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advances in Agronomy Journal**, Newark, v.75, p.457-461, 1996.

JONES, D.L., BRASSINGTON, D.S. Sorption of organic acids in acid soil and its implications in the rhizosphere. **European Journal of Soil Science**, Bedfordshire, v.49, p. 447-455, 1998.

KAFKAFI, U.; BAR-YOSEF, B.; ROSENBERG, R.; SPOSITO, G. Phosphorus adsorption by kaolinite and montmorillonite: Organic anion competition. . **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.1585-1589,1988.

KAISER, K.; ZECH, W. Soil dissolved organic matter sorption as influenced by organic and sesquioxide coatings and sorbed sulfate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p. 129-136, 1998.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIRK, G.J.D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal Soil Science**, Bedfordshire, v.50, p.369-378, 1999.

KIRK, G.J.D.; NYE, P.H. A sample model for predicting the rates of dissolution of sparingly soluble calcium phosphates in soil. II. Applications of the model. **Journal Soil Science**, New Brunswick, v.37, p. 541-554, 1986.

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**, New Brunswick, v.158, p. 442–453, 1994.

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M.A. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. **Agriculture Ecosystem Environmental**, Zurich, n.100, p.275-284, 2003.

KUSEL, K., DRAKE, H.L., Microbial turnover of low molecular weight organic acids during leaf litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Brisbane, v. 31, p.107-118, 1998.

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

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**, Morgantown, v. 21, p. 144-149, 1957.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, cidade, v.32, p.911-920, 2008.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. London; Academic Press, 1989.p 234.

PRADO, A.G.S.; REZENDE, M.O.O. Caracterização da turfa e dos ácidos húmicos as margens do Rio Mogi-Guaçu. **Anais da Associação Brasileira de Química, Cidade**, v. 48, n. 4, p. 186-191, 1999.

PUSHPARAJAH, E. Nutrient management and challenges in managing red and lateritic soils. In: SEHGAL, J.; BLUM, W.E.; GAJBHIYE, K.S. (Ed.). **Red and Lateritic soils**. Balkema, Rotterdam, 1998. p.293-304.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 284 p.

REDDY, D.D.; RAO, A.S.; TAKKAR, P.N. Effects of repeated manure and fertilizer phosphorus additions on soil phosphorus dynamics under a soybean wheat rotation. **Biological Fertilizer Soil**, Berlin, v.28, p.150-155, 1999.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. Importance of proton supply and calcium sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. **Journal Soil Science**, New Brunswick, v. 43, p. 447-459, 1992.

- RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.32, p.556-562, 1994.
- SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil organic matter**. Amsterdam: Elsevier, 1978. 319 p.
- SCHWERTMAN, U., KODAMA, H., FISHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: HUANG, P.M., SCHNITZER, M. (Ed.) **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. SSSA: Madison: WI. 1986. p.223-247. (SSSA Spec. Publ. 17)
- SIBANDA, H.M.; YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal Soil Science**, New Brunswick, v.37, p. 197-204, 1986.
- SILVERSTEIN, R. M.; BONLER, G.C.; MORRILL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1994. 387p.
- SYSTAT SOFTWARE Inc – SSI. **Sigmaplot for Windows, version 10**. 2006. Disponível em: <http://www.statsoft.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 22 set.2008.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 304p.
- STAUNTON, S.; LEPRINCE, F. Effect of pH and some organic anions on the solubility of soil phosphate: implications for P bioavailability. **European Journal Soil Science**, Bedfordshire, v.47, p.231–239, 1996.
- STEVENSON, F.J. **Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley, 1986. 380p.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction**. New York: Wiley Interscience, 1994. 443 p.
- STEVENSON, F.J. ; FITCH, A. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M., (Ed.). **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p.29-58. (SSSA Special Publication, 17)
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1996. Pt.3, p. 1011-1069. (Book Series Agronomy, 9).
- TOOR, G.S.; BAHL, G.S. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils., **Bio Technology Bioresour**, v.62, p.25-28, 1997.

van HEES, P.A.W.; JONES, D.L.; FINLAYC, R.; GODBOLD, D.L.; LUNDSTROM, U.S. The carbon we do not see - the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. **Soil Biology Biochemistry**, Brisbane, v.37, p.1-13, 2005.

3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO EM SOLOS COM DIFERENTES CAPACIDADES DE ADSORÇÃO E ADIÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Resumo

A eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados é afetada pela capacidade de adsorção de P no solo. A adição de matéria orgânica ao solo poderá alterar este efeito, por meio da competição dos ácidos orgânicos pelos sítios de adsorção. No entanto, este fenômeno ainda não está bem compreendido, existem poucas informações sobre a interação entre a matéria e o fósforo nos solos tropicais. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agronômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em água, com e sem adição de matéria orgânica, tendo como hipótese de que o aumento na eficiência agronômica dos fosfatos naturais reativos, após adição de matéria orgânica, é maior quando comparados aos fosfatos acidulados. Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, utilizando vasos contendo 3 kg de terra. Os tratamentos constaram de 2 tipos de solo (Latossolo Vermelho Amarelo - LVA e Latossolo Vermelho - LV), 2 fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo de Arad - FNR), 3 doses de P (0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P) e 3 doses de turfa - TF, correspondendo a 0, 25 e 50 t ha⁻¹. Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca da parte aérea, teor de P, quantidade de P acumulado na massa seca e eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P. De modo geral a aplicação de TF aumentou a EAR das fontes de P nos dois solos, sendo o maior efeito observado para a dose correspondendo a 50 t ha⁻¹ de TF no solo LVA. Um exemplo neste sentido foi o aumento na EAR de 11 % e 17 % para a fonte SFT e de 27 % e 63 % para a fonte FNR para produção de MSPA e P acumulado, respectivamente, neste solo. Estes resultados permitem concluir que a liberação de P dos fosfatos naturais pela adição de turfa foi mais significativa do que a redução da adsorção de P dos fosfatos de elevada solubilidade em água. O aumento da eficiência agronômica relativa após a adição de turfa foi maior para o fosfato natural reativo, quando comparado ao superfosfato triplo.

Palavras-chave: Fosfato natural; P acumulado; Eficiência agronômica; Adsorção de fósforo

Abstract

Agronomic efficiency of phosphate fertilizers is affected by the capacity of P adsorption in soils. The addition of organic matter on soils may be able to alter this effect, through the competition of organic acids by the adsorption sites. However, this phenomenon is not clearly understood, and there is little information about the interaction between matter and phosphorus in tropical soils. Within this context, the aim of this research work was to evaluate the agronomic efficiency of P sources with variable water solubility, with and without the addition of organic matter, in order to test the hypothesis that, increases on the agronomic efficiency of reactive natural phosphate after the addition of organic matter is higher when compared to acidulated

phosphates. This research work was carried out under greenhouse conditions in the Department of Soil Sciences at ESALQ/USP, using pots containing 3 kg of soil. Treatments consisted of 2 kinds of soils (Red-Yellow Latosol - LVA - and Red Latosol - LV), 2 sources of P (triple superphosphate - SFT - and Arad-reactive natural phosphate), 3 doses of P (0, 50 and 100 mg kg⁻¹ P), and 3 doses of peat (TF), corresponding to 0, 25 and 50 t ha⁻¹. Parameters assessed were: dry matter production from aerial part, P level, levels of P accumulated in dry matter and relative agronomic efficiency (EAR) of P sources. In a general way, the application of TF increased EAR of P sources on both soils, with a higher effect observed for the dose corresponding to 50 t ha⁻¹ TF in LVA soil. An example of this was the increase on EAR of 11% and 17% for SFT source and 27% and 63% for FNR source, for the production of MSPA and P accumulated, respectively, in this soil. These results allow us to conclude that the release of P from natural phosphates through the addition of peat was more significant than the reduction of P adsorption from phosphates of higher water solubility. The increase on relative agronomic efficiency after the addition of peat was higher for reactive natural phosphate, when compared to triple superphosphate.

Keywords: Natural phosphate; Accumulated P; Agronomic efficiency; Phosphorus adsorption.

3.1 Introdução

As fontes naturais de fósforo (P) mundialmente mais exploradas são oriundas de depósitos sedimentares e magmáticos, correspondendo a 85 % e 15 %, respectivamente. No Brasil, cerca de 80 % das jazidas de fosfatos naturais são de origem ígnea, com presença acentuada de rochas carbonáticas e minerais de baixo teor de P₂O₅ (LOPES, 2003). Estes depósitos estão localizados nos complexos de Araxá/Tapira (MG), Catalão/Ouvidor (GO), Jacupiranga/Cajati (SP) e no complexo alcalino carbonático de Mairicuru (MA). Os fosfatos naturais obtidos destas jazidas apresentam baixa solubilidade, sendo um dos fatores que levam a baixa eficiência agrônômica quando aplicados in natura (ALCARDE; PONCHIO, 1980; GOEDERT; LOBATO, 1984).

As principais fontes de P utilizadas na agricultura brasileira são os fosfatos acidulados, obtidas industrialmente pelo processo de acidulação de rochas fosfáticas, apresentando elevada solubilidade em água. Na obtenção destes fosfatos, alguns problemas têm sido observados tanto no aspecto industrial quanto econômico, um exemplo neste sentido é a necessidade de enxofre, que é importado em mais de 80 % (CARMO, 1994). Outra limitação deste processo é a exigência de matéria prima com elevado teor de P₂O₅ e baixo conteúdo de impurezas, o que tem levado à perda de até 40 % do P₂O₅ extraído nas jazidas, durante a fase de concentração do minério (LOBO; SILVA, 1984; RIEDER, 1986). Desta forma, nos últimos anos a utilização de fosfatos

naturais reativos (FNR) aumentou acentuadamente, o que poderia ser explicado pelo elevado custo dos fosfatos totalmente acidulados, bem como, pelos resultados de eficiência agrônômica dos fosfatos naturais (FN) em solos ácidos com elevada capacidade de adsorção de P.

As fontes de elevada solubilidade apresentam maior eficiência em curto espaço de tempo, quando comparada aos fosfatos naturais. Entretanto, nos solos tropicais, com elevada capacidade de adsorção de P, o nutriente oriundo da fonte solúvel, é convertido a formas menos disponíveis reduzindo assim sua eficiência (BOLLAND; BOWDEN, 1982; HOROWITZ; MEURER, 2004). Considerando que a liberação de P das fontes de baixa solubilidade é mais lenta, o efeito da adsorção tende ser menor, uma vez que, será necessário ocorrer à dissolução da fonte, para que este fenômeno aconteça (RESENDE et al., 2006). Desta forma, o efeito residual dos FN pode ser maior quando comparado aos fosfatos solúveis.

Solos altamente intemperizados normalmente apresentam elevada capacidade de adsorção de P, o que diminui a eficiência da adubação fosfatada, fazendo com que grandes quantidades deste nutriente sejam utilizadas para obter elevados níveis de produtividades das culturas. O processo de adsorção que explica esta baixa eficiência da adubação fosfatada pode ser influenciado por vários fatores dentre eles a composição mineralógica e pH do solo, presença de ânions competidores e matéria orgânica (MO). A interação entre MO e P pode ser fundamental para reduzir a adsorção de P, sendo avaliada pelas curvas de adsorção de P após a adição de MO. Alguns estudos têm demonstrado que, este efeito provoca redução na adsorção de P no solo (HUE et al., 1994; BAHL et al., 1998; BASAMBA et al., 2006). Mesquita filho e Torrent (1993) constataram que, em alguns solos, a adsorção de P aumentou drasticamente após a remoção da MO com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo que a diferença entre o P adsorvido nas amostras tratadas e não tratadas foi relativo ao teor de MO. No entanto, novos estudos são necessários avaliando o efeito da adição de MO na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção.

A adição de MO visando aumentar a disponibilidade de P foi proposto, também, na revisão de Haynes e Mokolobate (2001). Esta hipótese é suportada pelas conclusões de Iyamuremye; Dick (1996), que por sua vez, observaram que a resposta na adsorção de P no solo, após adição de MO, refletiu no aumento do teor de P extraído do solo. Os autores sugerem que, o P inorgânico (P_i) liberados da MO podem competir com o P dos fertilizantes pelos sítios de adsorção potencialmente disponíveis. Além disso, os ácidos orgânicos provenientes da

decomposição da MO, podem atuar na solubilização dos fosfatos naturais, aumentando a disponibilidade deste nutriente.

Poucos estudos foram realizados avaliando o efeito da adição de MO na eficiência agronômica de fontes de fósforo em solos com diferentes capacidades de adsorção. Considerando a interação MO x P, é possível que os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO, possam diminuir a adsorção de P nos solos e conseqüentemente aumentar a disponibilidade deste nutriente. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agronômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em água, com e sem adição de MO. A hipótese testada foi de que o aumento na eficiência agronômica dos fosfatos naturais reativos, após adição de matéria orgânica, é maior quando comparados aos fosfatos acidulados.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Material e Métodos

Um estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, utilizando vasos contendo 3 kg de terra. O solo foi incubado por 20 dias com calcário, objetivando elevar a saturação por bases a 60 %. Os tratamentos constaram de 2 tipos de solo (Latosolo Vermelho Amarelo - LVA e Latossolo Vermelho - LV), 2 fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo - FNR), 3 doses de P (0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P) e 3 doses de turfa - TF, correspondendo a 0, 25 e 50 t ha⁻¹. A caracterização dos solos, das fontes de P e da TF está descrita no capítulo 1. As fontes de P foram misturadas às amostras de solo e homogeneizadas, sendo aplicadas com base no P total e na forma granulada e farelada, para SFT e FNR, respectivamente. Os demais nutrientes foram adicionados nas quantidades de 200 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia e 200 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl. Os micronutrientes foram fornecidos ao solo na forma de solução contendo as seguintes doses: 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo. Os vasos foram arrançados em um esquema de blocos completos casualizados com três repetições (Tabela 1 do Apêndice B). Nove sementes de milho (*Zea mays* L) híbrido Exceller, foram semeadas por vaso e desbastadas para duas plantas oito dias após a emergência. A umidade foi mantida a 70 % da capacidade de campo durante todo experimento.

As plantas foram colhidas cortando-se a parte aérea 45 dias após a emergência, em seguida secas em estufa a 60 °C com circulação forçada de ar. Para avaliar o efeito residual da

aplicação de fontes de fósforo e doses de TF, o experimento foi conduzido por dois cultivos consecutivos de 45 dias. A concentração de P na parte aérea das plantas foi determinada após digestão da amostra com $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ pelo método molibdovanadato (MALAVOLTA, VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca da parte aérea, teor de P, quantidade de P acumulado na massa seca e eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P.

3.2.2 Análise dos dados

Os resultados dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância, para verificar a significância dos efeitos das fontes de P, doses de P e doses de TF, além de avaliar a existência ou não de interação significativa entre esses fatores. A comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SISVAR[®] versão 4.0 (FERREIRA, 2000). Modelos matemáticos de regressão foram testados utilizando o pacote estatístico SAS[®] - “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 1996), sendo escolhido aquele com maior coeficiente de determinação (R^2). As curvas dos modelos foram ajustadas pelo Software SigmaPlot[®] versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2008) para avaliar o efeito de fontes e doses de P e doses de TF dentro de cada solo. O ajuste da resposta em função das doses foi realizado utilizando-se os modelos que seguem:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X + \varepsilon_i, X \geq 0, \quad [3.1]$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i \ln X + \varepsilon_i, X \geq 1 \text{ ou} \quad [3.2]$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X^{1/2} + \varepsilon_i, X \geq 0 \quad [3.3]$$

onde Y_i é a produção de massa seca ou P acumulado, X é a dose de P aplicada, β_i é o coeficiente angular da regressão para a fonte i , β_0 é o ponto comum de intersecção das regressões com o eixo Y , e ε_i o termo de erro para a regressão proposta.

A eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes foi calculada de duas formas:

A primeira, utilizando os coeficientes do modelo de regressão de melhor ajuste:

$$EAR_i = \frac{\beta_i}{\beta_{SFT_{sem\ turfa}}} \times 100 \quad [3.4]$$

onde β_i é o coeficiente angular da fonte testada (p.e. SFT com adição de TF) e o $\beta_{SFT_{sem\ TF}}$ o coeficiente angular da fonte padrão de P, neste caso, o SFT sem adição de TF. A comparação

destas razões permite classificar as fontes em relação à fonte padrão de P em termos de eficiência potencial para produzir resposta (CHIEN; SALE; HAMMOND, 1990).

A segunda, levando em consideração as doses de P aplicada e dose de TF:

$$EAR_i = \frac{Y_i - Y_t}{Y_p - Y_t} \times 100 \quad [3.5]$$

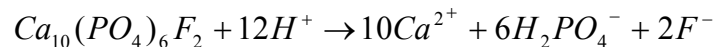
onde EAR_i é a eficiência agrônômica relativa da fonte i e Y_i , Y_t e Y_p a produção de massa seca ou P acumulado para fonte i em uma determinada dose (p.e. SFT com adição de TF), pela testemunha (sem aplicação de fósforo) e pela fonte padrão (SFT sem adição de TF), respectivamente.

3.3 Resultados e discussão

Os valores originais médios para a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), teor de P na massa seca e P acumulado, estão apresentados nas Tabelas 2 a 7 do Apêndice B. A análise da variância para os parâmetros MSPA e P acumulado encontra-se na Tabela 8 do Apêndice B. O desdobramento das interações entre os fatores fontes de P, doses de P e doses de TF nos períodos avaliados foi realizado considerando o maior nível de interação. As curvas de respostas para o parâmetro MSPA e quantidade de P acumulado em função das doses de P das fontes SFT e FNR e doses de TF, nos solos LVA e LV no primeiro cultivo avaliado estão apresentadas na Figura 3.1. Dentre os modelos de regressões testados o modelo linear foi o que apresentou o melhor ajuste para a produção de MSPA e P acumulado pelas plantas de milho, no primeiro cultivo, nos dois solos avaliados (Figura 3.1 e Tabela 3.1).

Para os parâmetros produção de MSPA e P acumulado houve resposta da adubação fosfatada, tanto para o solo LVA quanto para o LV no primeiro cultivo avaliado (Figura 3.1). De modo geral, neste cultivo o efeito foi maior para a fonte SFT quando comparada à fonte FNR para ambos parâmetros avaliados (Figuras 3.1A e 3.1B). Sagoe et al. (1998), observaram que a produção de MSPA de grama italiana no primeiro cultivo (56 dias) foi maior para a fonte superfosfato simples, quando comparado a seis fontes de fosfatos naturais. Este resultado está relacionado a elevada solubilidade em água desta fonte, o que favorece a respostas imediatas. Relações diretas entre grau de solubilidade de fontes de P e eficiência agrônômica foram comprovadas em culturas anuais por Goedert; Rein; Sousa (1988).

Para as fontes de P utilizadas (SFT e FNR) a aplicação de doses de TF aumentou tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado de plantas de milho, no solo LVA no primeiro cultivo. Considerando a amplitude das doses de P, os maiores efeitos na produção de MSPA foram observados para a fonte FNR, após a adição de doses correspondentes a 25 e 50 t ha⁻¹ de TF. Já para a fonte SFT só houve aumento significativo na maior dose de TF (50 t ha⁻¹) (Figura 3.1A). O mesmo foi observado para a quantidade de P acumulado (Figura 3.1B). Estes resultados sugerem que os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da TF, podem competir com o P pelos sítios de adsorção, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Sagoe et al, (1997) verificaram correlação positiva entre a quantidade de P solubilizado dos FN pelos ácidos orgânicos e a quantidade de P acumulado pelas plantas. Este efeito ficou mais evidente no solo LVA cuja a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) é baixa, correspondendo a 438 mg kg⁻¹ de P (Dados apresentados no capítulo 1). Além disso, para a fonte FNR outros efeitos devem ser considerados na liberação de P após a adição de TF, tais como, o fornecimento de H⁺ e complexação do Ca²⁺ pelos ácidos orgânicos oriundos da decomposição da TF, o que pode aumentar a solubilidade desta fonte. A dissolução dos fosfatos naturais (FN) nos solos ocorrem de acordo com a reação ideal (KHASAWNEH; DOLL, 1978):



Para que esta reação continue é necessário o fornecimento de prótons (H⁺) e remoção dos produtos da dissolução (Ca²⁺, H₂PO₄⁻ e F⁻). Além disso, os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO, rizosfera das plantas e metabolismo microbiano podem aumentar a dissolução dos fosfatos naturais devido o fornecimento de H⁺ e complexação dos íons Ca²⁺ (MOGHIMI et al, 1978).

No solo LV com elevada capacidade de adsorção de P (1238 mg kg⁻¹ de P), a adição de doses de TF não afetou a produção de MSPA e quantidade de P acumulado para a fonte SFT no primeiro cultivo (Figura 3.1C e 3.1D). Estes resultados podem ser explicados pela elevada solubilidade desta fonte, estando a mesma prontamente disponível para reagir com o sítios de adsorção de P no solo. Além disso, neste caso devido a elevada quantidade de sítios de adsorção os ácidos orgânicos liberados não foram suficientes para competir com P nos processos adsorção. Entretanto, para a fonte FNR a produção de massa seca e P acumulado aumentaram na dose de 50 t ha⁻¹ no solo LV. Este efeito foi verificado apenas na maior dose de TF, devido a elevada

capacidade de adsorção de P deste solo. Neste caso, é necessário uma grande quantidade de ácidos orgânicos para solubilizar o FNR e competir com o P pelos sítios de adsorção. Segundo Stevenson, (1994), quando a dose dos ácidos orgânicos é elevada, a competição pelos sítios de adsorção de P e formação de compostos por meio de pontes metálicas também aumenta. Este efeito reduz consideravelmente a adsorção de P e aumenta sua concentração na solução do solo e conseqüentemente sua disponibilidade para as plantas.

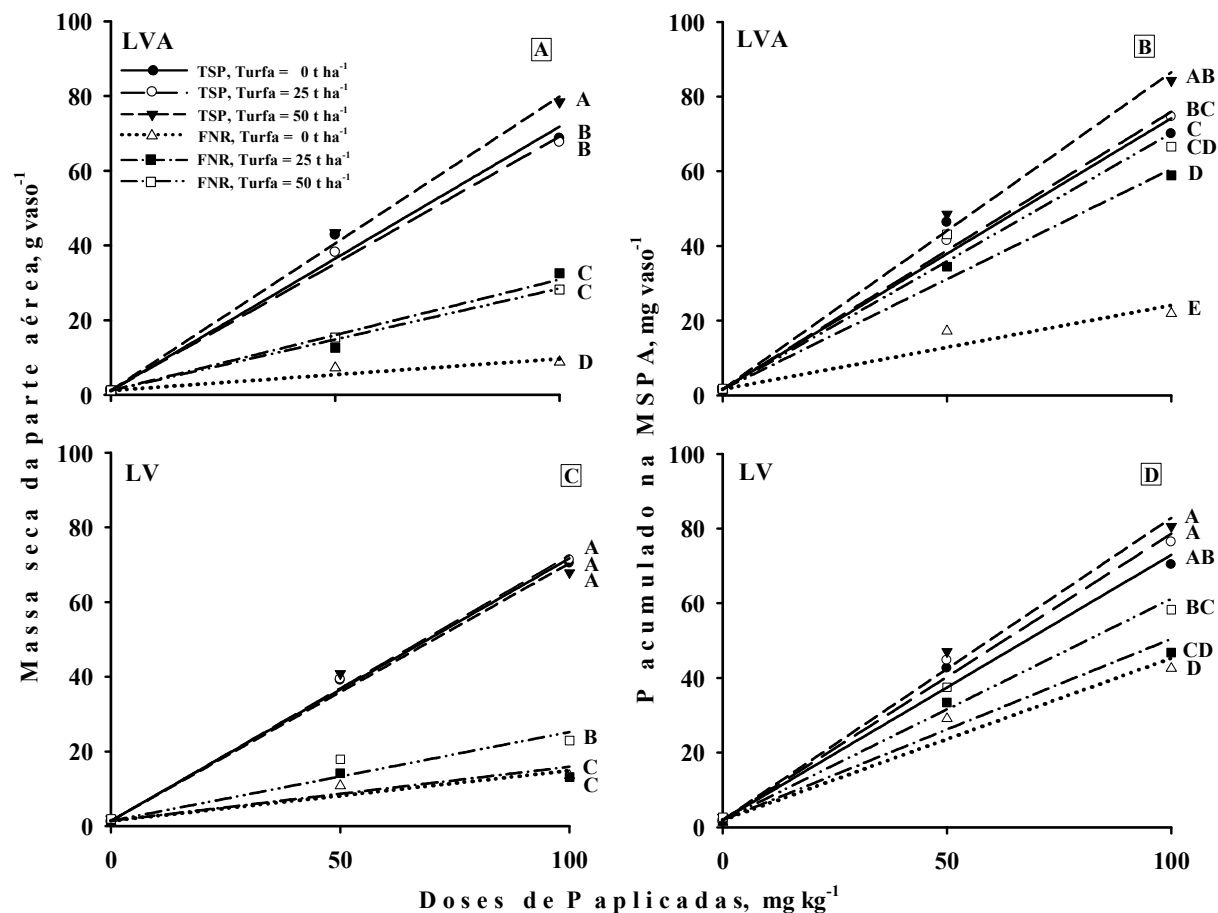


Figura 3.1 – Efeitos de doses de P e doses de turfa na produção de massa seca da parte aérea e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho, para as fontes SFT e FNR no solo LVA (A e B) e LV (C e D) no primeiro cultivo. Modelos seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade

A estimativa dos parâmetros para a variável MSPA e P acumulado e as respectivas EAR, para o primeiro cultivo considerando a amplitude das doses de P utilizadas, estão apresentadas na Tabela 3.1. Neste cultivo verifica-se que a EAR calculada com base na produção de massa seca para fonte SFT, foi maior quando comparado ao FNR nos dois solos avaliados. De modo geral a aplicação de TF aumentou a EAR das fontes de P para os parâmetros MSPA e P acumulado nos

dois solos, sendo o maior efeito observado para a dose correspondendo a 50 t ha^{-1} de TF no solo LVA (Tabela 3.1). Um exemplo neste sentido, foi o aumento na EAR de 11 % e 17 % para a fonte SFT e de 27 % e 63 % para a fonte FNR em relação a quando não foi adicionado TF para produção de MSPA e P acumulado, respectivamente, neste solo. Estes resultados sugerem que a adição de TF aumentou o teor de P disponível para as fontes SFT e FNR, e conseqüentemente a produção de MSPA e quantidade de P acumulado o que refletiram na EAR. No entanto, no solo com elevada capacidade de adsorção de P (LV) a aplicação de TF não afetou a EAR para a fonte de elevada solubilidade (SFT) no primeiro cultivo avaliado. Já para a fonte FNR devido a lenta liberação do P, e a competição dos ácidos orgânicos pelo sítios de adsorção de P, houve aumento na EAR no solo LV, para a maior dose de TF. Estes resultados comprovam a hipótese de que a interação entre MO x P, contribui para aumentar a EAR das fontes de P, com maiores efeitos para os fosfatos naturais. Sagoe et al. (1997) verificaram que, embora a fração de P solúvel do FNR ser baixa, a adição de ácidos orgânicos resultou em aumento da EAR. Os autores observaram ainda que, a EAR dos fosfatos naturais tratados com ácidos orgânicos foi de 74 % em relação a não adição destes ácidos, com base na produção de MSPA. Kifuko et al. (2007), verificaram que a adição de matéria orgânica em conjunto com FN reduziu a adsorção de P nas primeiras semanas. Os autores sugerem ainda que esta redução na adsorção de P varia com: (i) tempo em que os resíduos foram adicionados ao solo; (ii) dose de FN aplicado e (iii) qualidade do resíduo orgânico incorporado. Estes resultados sugerem que o tratamento dos fosfatos de rocha com ácidos orgânicos poderia ser uma boa alternativa para os fosfatos de baixa solubilidade em comparação ao fosfatos acidulados.

Tabelas 3.1 – Estimativas dos parâmetros da equação de regressão ajustadas para variável massa seca da parte aérea (MSPA) e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho e os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR) no primeiro cultivo

Fontes de P ¹	Parâmetro da equação ²	MSPA		P acumulado	
		Estimativa dos parâmetros	EAR (%) ³	Estimativa dos parâmetros	EAR (%)
Latossolo vermelho amarelo – LVA					
	β_0	1,15000		1,61000	
$SFT_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 0}$	0,70656	100 B	0,72588	100 C
$SFT_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 25}$	0,67999	96 B	0,74335	102 BC
$SFT_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 50}$	0,78739	111 A	0,84895	117 AB
$FNR_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 0}$	0,08476	12 D	0,22481	31 E
$FNR_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 25}$	0,29711	42 C	0,58975	81 D
$FNR_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 50}$	0,27329	39 C	0,68561	94 CD
Modelo genérico ajustado		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_i X$		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_i X$	
R ²		0,99		0,99	
CV (%)		10,9		12,6	
Desvio padrão da regressão		2,7420		4,31569	
Erro padrão dos parâmetros		0,0245		0,0456	
Latossolo Vermelho – LV					
	β_0	1,40000		1,94000	
$SFT_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 0}$	0,70295	100 A	0,70992	100 AB
$SFT_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 25}$	0,71100	101 A	0,76659	108 A
$SFT_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 50}$	0,68961	98 A	0,80912	114 A
$FNR_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 0}$	0,13443	19 C	0,43325	61 D
$FNR_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 25}$	0,14484	21 C	0,48485	68 CD
$FNR_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{i-TF 50}$	0,23780	34 B	0,59245	83 BC
Modelo genérico ajustado		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_i X$		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_i X$	
R ²		0,99		0,98	
CV (%)		13,2		12,8	
Desvio padrão da regressão		3,1587		4,4086	
Erro padrão dos parâmetros		0,0282		0,0385	

¹SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; ² β_0 é o ponto comum de intersecção das regressões com o eixo Y; β_i é o coeficiente angular da regressão para a fonte i; ³Letras seguidas iguais não diferem estatisticamente entre si pela comparação dos modelos da regressão (P≤0,05).

No segundo cultivo, dentre os modelos de regressões testados os modelos raiz quadrática e linear foram os apresentaram o melhor ajuste para a produção de MSPA e quantidade de P acumulado, respectivamente (Figura 3.2 e Tabela 3.2). Avaliando o efeito residual das fontes de P após a adição de TF, verifica-se de modo geral que, a produção de MSPA foi maior para a fonte FNR em função da adição de TF quando comparado ao SFT em ambos os solos (Figura 3.2A e 3.2C). Andrade et al. (2007) verificaram que no solo LVA os resultados de produção de MSPA

de plantas de milho geralmente foi maior quando foram aplicadas doses elevadas de ácidos húmicos. Estes resultados demonstram que, existe uma interação entre MO e fertilizantes fosfatados, sendo que o aumento na produção de MSPA está relacionado ao aumento de disponibilidade de P para as plantas, o que pode ser explicado pela participação dos ácidos orgânicos na redução da adsorção de P, bem como na solubilização do fosfato natural. Andrade et al. (2003) verificaram que, de modo geral, houve redução na adsorção e precipitação de P com aumento das doses de ácidos orgânicos e húmicos, tanto para o LV como para o LVA. Kifuko et al. (2007) observaram interações significativas entre FNR e resíduos orgânicos no teor de P disponível, após 12 e 16 semanas de incubação, sugerindo que os resíduos orgânicos aumentam a solubilidade de FNR.

Assim como ocorreu para a produção de MSPA houve resposta para a quantidade de P acumulado em função das doses de P e doses de TF nos solos LVA e LV (Figura 3.2). Avaliando o efeito residual das fontes de P e doses de TF aplicada no primeiro cultivo, verifica-se que a quantidade de P acumulado foi maior para a fonte FNR em comparação ao SFT nos dois solos avaliados (Figura 3.2B e 3.2D). Este efeito ficou mais evidente para a dose de 50 t ha^{-1} , sugerindo que nesta dose os ácidos orgânicos liberados da TF podem ter aumentado a solubilidade do fosfato natural disponibilizando mais P para absorção pelas plantas. Sagoe et al, (1997) verificaram correlação positiva entre a quantidade de P solubilizado dos FN pelos ácidos orgânicos e a quantidade de P acumulado pelas plantas.

A quantidade de P acumulado pela MSPA das plantas em função das doses de P e de TF e tipo de solo, demonstra que os efeitos observados depende da interação entre a solubilidade das fontes, liberação dos ácidos orgânicos da TF e da quantidade e tipo de argila presente nos solos, que definem a capacidade de adsorção de P. Desta forma, o aumento na disponibilidade de P para as plantas e consequentemente maior acúmulo de P pela MSPA, é resultado de um conjunto de fatores.

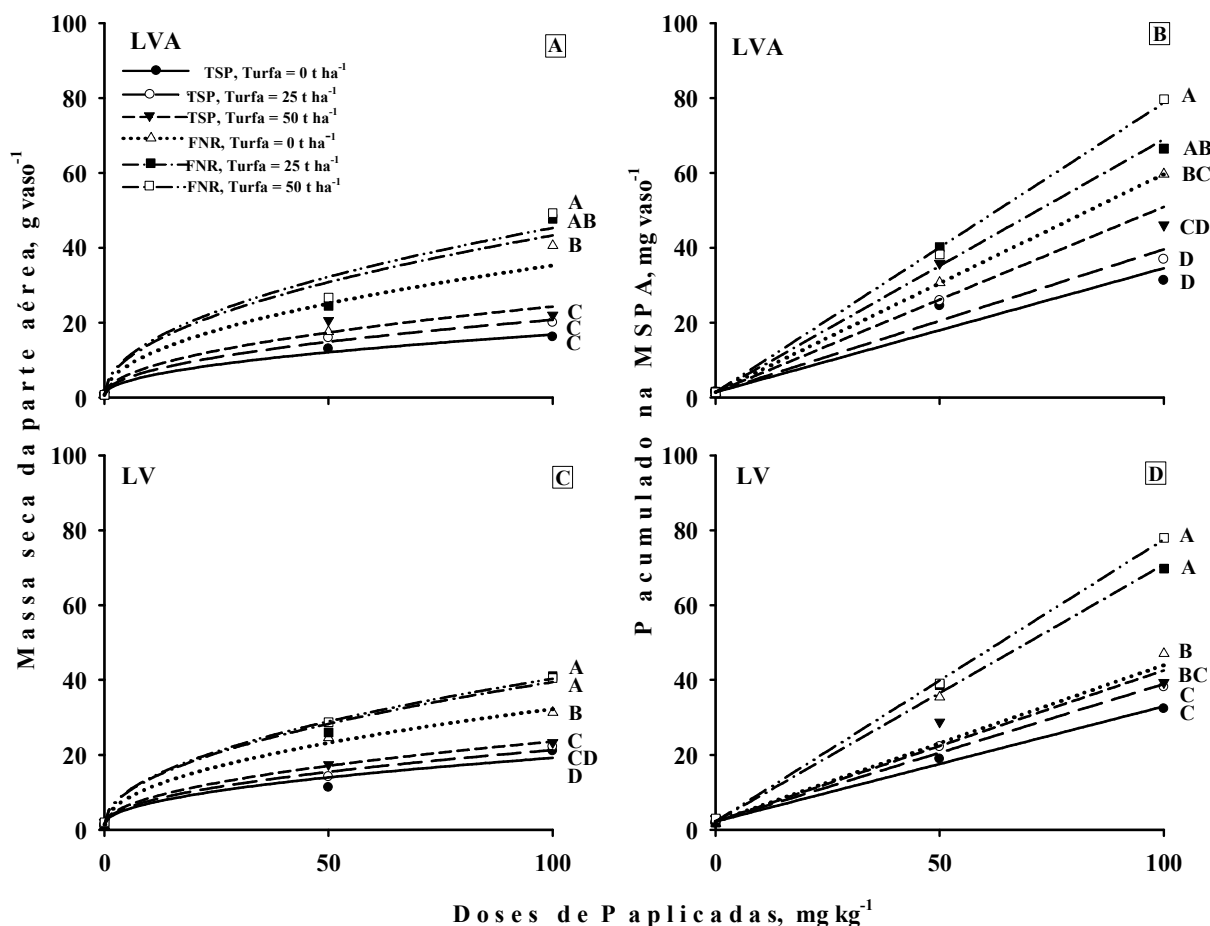


Figura 3.2 – Efeitos de doses de P e doses de turfa na produção de massa seca da parte aérea e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho, para as fontes SFT e FNR no solo LVA (A e B) e LV (C e D) no segundo cultivo. Modelos seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade

A estimativa dos parâmetros para a variável MSPA e P acumulado e as respectivas EAR considerando a amplitude das doses de P utilizadas, no segundo cultivo, estão apresentadas na Tabela 3.2. A EAR das fontes SFT e FNR foi calculada utilizando os parâmetros do modelo da regressão para a variável P acumulado (Eq. 3.4), onde foi considerado como fonte padrão o SFT sem adição de TF. Para o solo LVA no segundo cultivo avaliado houve efeito da adição de TF na EAR para os parâmetros produção de MSPA e na quantidade de P acumulado. Este aumento foi de 46 % e 49 % para MSPA e P acumulado, respectivamente, no solo LVA para a dose de 50 t ha⁻¹ de TF. Estes resultados sugerem que a adição de TF aumentou o teor de P disponível para a fonte SFT, e consequentemente a produção de MSPA e quantidade de P acumulado pela plantas de milho. Para a fonte FNR no segundo cultivo no solo LVA, só houve efeito para a maior dose

de TF, com aumento de 58 % na EAR para o parâmetro P acumulado. Para a fonte SFT não houve diferença significativa, o que indica que com o passar do tempo o processo de adsorção passa a ocorrer reduzindo a disponibilidade de P.

No solo com elevada capacidade de adsorção de P não houve diferença significativa na EAR da fonte SFT após adição de TF para a variável P acumulado no segundo cultivo (Tabela 3.2). Isto pode está relacionado aos processos de adsorção que ocorrem de forma mais rápida para as fontes de elevada solubilidade. Já para a fonte FNR, nos dois parâmetros avaliados a EAR aumentou com a dose de TF diferindo estatisticamente para as doses de 25 e 50 t ha⁻¹ de TF. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que, devido a lenta solubilidade do FNR antes de ocorrer os processos de adsorção de P desta fonte, os ácidos orgânicos são liberados da TF, o que reduz a adsorção de P, com efeito no solo LV para a maior de dose de TF. Kifuko et al. (2007), verificaram que a adição de matéria orgânica em conjunto com FN reduziu a adsorção de P nas primeiras semanas. Os autores sugerem ainda que esta redução na adsorção de P varia com: (i) tempo em que os resíduos foram adicionados ao solo; (ii) dose de FN aplicado e (iii) qualidade do resíduo orgânico incorporado.

Tabela 3.2 – Estimativas dos parâmetros da equação de regressão ajustadas para variável massa seca da parte aérea (MSPA) e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho e os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR) no segundo cultivo

Fontes de P ¹	Parâmetro da equação	MSPA		P acumulado	
		Estimativa dos parâmetros	EAR (%)	Estimativa dos parâmetros	EAR (%)
Latossolo vermelho amarelo - LVA					
	β_0	0,72000		1,44000	
$SFT_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 0}$	1,61048	100 C	0,33124	100 D
$SFT_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 25}$	2,00607	125 C	0,38164	115 D
$SFT_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 50}$	2,35915	146 C	0,49507	149 CD
$FNR_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 0}$	3,45581	215 B	0,58285	176 BC
$FNR_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 25}$	4,25946	264 AB	0,67552	204 AB
$FNR_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 50}$	4,45985	277 A	0,77337	233 A
<i>Modelo genérico ajustado</i>		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{X}$		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X$	
R^2		0,96		0,98	
CV (%)		23,5		15,3	
<i>Desvio padrão da regressão</i>		4,1727		4,48145	
<i>Erro padrão dos parâmetros</i>		0,3407		0,4123	
Latossolo Vermelho – LV					
	β_0	1,40000		2,19000	
$SFT_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 0}$	1,77562	100 D	0,30753	100 C
$SFT_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 25}$	1,98397	112 CD	0,36740	119 C
$SFT_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 50}$	2,21421	125 C	0,40357	131 BC
$FNR_{TF 0 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 0}$	3,08143	174 B	0,49181	160 B
$FNR_{TF 25 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 25}$	3,80216	214 A	0,68641	223 A
$FNR_{TF 50 t ha^{-1}}$	$\beta_{1-TF 50}$	3,89148	219 A	0,75356	245 A
<i>Modelo genérico ajustado</i>		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{X}$		$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X$	
R^2		0,99		0,98	
CV (%)		8,4		13,0	
<i>Desvio padrão da regressão</i>		1,4483		3,62465	
<i>Erro padrão dos parâmetros</i>		0,1182		0,1236	

¹SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; ² β_0 é o ponto comum de intersecção das regressões com o eixo Y; β_i é o coeficiente angular da regressão para a fonte i; ³Letras seguidas iguais não diferem estatisticamente entre si pela comparação dos modelos da regressão ($P \leq 0,05$).

A EAR das fontes de P calculada dentro de cada dose de TF e dose de P (Eq. 3.5), para a variável MSPA e quantidade de P acumulado para os solos LVA e LV em ambos o cultivos está apresentada na Tabela 3.3. No primeiro cultivo, verifica-se que para o solo de baixa capacidade de adsorção de P, a EAR da fonte SFT aumentou 14 % para a dose de 50 mg kg⁻¹ de P após a adição de 50 t ha⁻¹ de TF quando comparado a não adição de TF, entretanto, este efeito não foi

observado para o solo LV. Isto demonstra que, devido a elevada capacidade de adsorção de P deste solo, as quantidades de TF adicionadas não foram suficientes para bloquear os sítios de adsorção de P e aumentar a disponibilidade de P para as plantas. Andrade et al. (2003) observaram que, no solo LVA com menor superfície de adsorção que o LV, a presença dos ácidos orgânicos, foi mais eficiente em bloquear os sítios de adsorção e com isto, reduziu a adsorção de fosfato.

No segundo cultivo, houve aumento da EAR para a fonte de elevada solubilidade em ambos os solos, com maiores efeitos para a menor dose de P (50 mg kg^{-1}), com aumento de 62 % e 49 % no solo LVA e LV, respectivamente (Tabela 3.3). Estes resultados sugerem que com o passar do tempo, a TF é decomposta liberando ácidos orgânicos que podem competir com P pelos sítios de adsorção por meio da troca de ligantes OH, elevando assim o efeito residual da fonte SFT. HUE, (1991) verificou que, a adição de ácidos orgânicos nos solos pela decomposição da MO aumentou a absorção de P pelas plantas dos fertilizantes fosfatados solúvel em água. Neste sentido, Bolan et al. (1994), observaram também que, houve aumento na EAR do fosfato acidulado na presença de ácidos orgânicos.

De modo geral a adição de doses de TF nos dois solos afetou a EAR da fonte FNR nos dois cultivos avaliados. Os maiores efeitos foram observados no segundo cultivo, com acréscimo de 74 % e 56 % na EAR, para as doses de 50 e 100 mg kg^{-1} de P, respectivamente, quando adicionado dose de TF equivalente a 50 t ha^{-1} no solo LVA, quando comparado a não adição de TF (Tabela 3.3). Neste caso, fica evidente o sincronismo entre a liberação dos ácidos orgânicos da TF e a solubilização de P dos FNR. A participação dos ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO, na liberação de P e aumento da EAR dos fosfatos naturais já foi comprovada em diversos estudos (KPOMBLEKOU-A; TABATABAI, 1994; SAGOE et al., 1998; KIFUKO et al., 2007). Este efeito pode ser atribuído ao fornecimento de H^+ e complexação de Ca^{2+} pelos ácidos orgânicos, favorecendo as reações de dissolução do FN. Sagoe et al. (1998) demonstraram que, o ácido H_2SO_4 solubilizou o FN apenas por meio da protonação. Já a dissolução do FN pelos ácidos orgânicos, ocorreu inicialmente devido a liberação de prótons, em seguida a solubilização depende da capacidade dos ácidos orgânicos em retirar o Ca^{2+} da solução. A eficiência destes ácidos é devido a formação de composto insolúvel com Ca^{2+} os quais precipitam na solução do solo. Esta remoção rápida e eficiente do Ca^{2+} , aumenta a quantidade de P dissolvido. Kpombekou-A e Tabatabai (2003) verificaram que, a adição de ácidos orgânicos

aumentou significativamente o teor de P disponível para as plantas dos FN. Em muitos casos este efeito resultou em aumento de produção de MSPA

Além disso, é possível verificar que o aumento da EAR das fontes de P em função da adição de TF, depende da dose de P aplicada e da capacidade de adsorção de P do solo, o que está relacionado a quantidade e mineralogia das argilas. Neste contexto, considerando a interação entre os ácidos orgânicos oriundos da TF e a EAR das fontes, é possível aumentar o efeito residual dos fosfatos acidulados, bem como, obter resultados satisfatórios para os FN já no primeiro cultivo. Segundo Sagoe et al. (1998), FN de elevada reatividade (70 mg g^{-1} P do FNR solúvel em ácido cítrico, 2 %) poderia suprir a necessidade da planta já nos estágios iniciais de crescimento.

Avaliando a EAR das fontes de P calculada dentro de cada dose de TF e dose de P, para o parâmetro P acumulado, verifica-se que, no primeiro cultivo para as maiores doses de P (100 mg kg^{-1}) e de TF (50 t ha^{-1}) a EAR da fonte SFT aumentou 21 e 13 % nos solos LVA e LV, respectivamente, em relação a não adição de TF. Já para a fonte FNR este aumento foi de 65 e 20 %, nos respectivos solos. Além disso, a EAR desta fonte aumentou com as doses de TF utilizadas nos dois solos avaliados, apresentando valores muito próximos para as doses de P no primeiro cultivo (Tabela 3.3). Desta forma, estes resultados demonstram que os maiores efeitos dos ácidos orgânicos oriundos da TF na EAR, foi para os FNR quando comparado ao SFT. Estudos realizados por Sagoe et al. (1998), demonstraram que, a percentagem de P recuperado dos FN tratados com ácidos orgânicos calculado por unidade de P solúvel em água aplicado, foi de 111 % comparado com 55 % para o superfosfato simples.

No segundo cultivo a EAR da fonte FNR foi maior quando comparada a SFT para todas das doses de TF utilizadas. O que está relacionado ao maior efeito residual desta fonte com liberação lenta do P e aumento da disponibilidade deste nutriente com o tempo. Neste cultivo, houve aumento de 49 % na EAR da fonte de elevada solubilidade para o solo LVA na maior dose de TF (50 t ha^{-1}), quando comparado a não adição de TF. Estes resultados sugerem que a liberação de ácidos orgânicos oriundos da TF reduziu a adsorção de P e com isso aumentou a absorção deste nutriente pelas plantas. Haynes (1984), verificou que, o solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando sua disponibilidade. Para o FNR os maiores teores de P foram observados para as doses de TF equivalente a 50 t ha^{-1} , neste caso, os elevados valores de EAR observado, pode ser devido a

liberação de P desta fonte pelos ácidos orgânicos. Kifuko et al. (2007), verificaram que, a aplicação de FN e matéria orgânica separadamente aumentou significativamente a disponibilidade de P. Neste estudo, os autores observaram ainda que, a interação entre o FN (30 e 60 kg ha⁻¹ de P) e o resíduo orgânico (2 t ha⁻¹) adicionados ocorreu somente aos 84 e 112 dias após aplicação dos tratamentos.

Além disso, vale ressaltar que, a fonte padrão utilizada para cálculo da EAR foi o SFT sem adição de TF, e com tempo ocorre redução na disponibilidade P pelos processos de adsorção, como o cálculo é realizado em relação ao SFT, justifica os elevados valores encontrados de EAR para o FNR no segundo cultivo.

Tabela 3.3 – Eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P dentro de cada dose de turfa, dose de P, solo e cultivo, com base na produção de massa seca da parte aérea e quantidade de P acumulado

Fontes de P ¹	Dose de TF t ha ⁻¹	Eficiência Agrônômica Relativa (EAR)			
		LVA ⁽²⁾		LV	
		mg kg ⁻¹ de P		mg kg ⁻¹ de P	
		50	100	50	100
Massa seca da parte aérea					
----- 1º cultivo -----					
SFT	0	100	100	100	100
	25	89	99	100	101
	50	101	114	102	95
FNR	0	14	11	26	18
	25	28	47	34	17
	50	34	40	42	30
----- 2º cultivo -----					
SFT	0	100	100	100	100
	25	124	125	124	104
	50	162	138	149	106
FNR	0	138	257	228	151
	25	194	304	239	198
	50	212	313	258	192
----- P acumulado -----					
----- 1º cultivo -----					
SFT	0	100	100	100	100
	25	89	107	104	108
	50	105	121	108	113
FNR	0	35	30	67	60
	25	74	84	77	65
	50	92	95	84	80
----- 2º cultivo -----					
SFT	0	100	100	100	100
	25	105	118	118	118
	50	149	149	150	119
FNR	0	127	195	196	148
	25	167	217	213	222
	50	159	261	210	245

¹SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural de Arad; ²LVA: Latossolo vermelho amarelo; LV: Latossolo Vermelho.

Os desdobramentos da interação tripla entre os fatores fontes de P, doses de TF e doses de P, para a variável produção de MSPA e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho no solo LVA para o primeiro cultivo encontra-se na Tabela 3.4. Neste solo a produção de MSPA aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) com a dose de P aplicada para as fontes SFT e FNR. Isto foi possível devido ao baixo teor de P disponível neste solo, apresentando elevado potencial para produzir resposta. Comparando as fontes de P, verifica-se que no primeiro cultivo a produção de MSPA foi maior para a fonte SFT em relação ao FNR (Tabela 3.4), o que está relacionado a elevada solubilidade desta fonte, estando prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas, diferente do FNR que precisa ser solubilizado. Sagoe et al. (1997) observaram que, a absorção de P do fosfato acidulado pela grama italiana aos 56 dias de cultivo, foi cerca de duas vezes maior do que para o FN, dependendo da reatividade da fonte de FN.

Avaliando o efeito da adição de TF na produção de MSPA no primeiro cultivo para o solo LVA, observa-se que, para a fonte SFT só houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) na maior dose de P e de TF, com aumento de 14 % (Tabela 3.4). Este resultado sugere que, para a fonte de elevada solubilidade em água, é necessário grandes quantidades de ácidos orgânicos para competir com o P pelos sítios de adsorção e aumentar a eficiência da adubação fosfatada. Entretanto, vale ressaltar que as doses de TF utilizadas neste estudo, foram muito elevadas quando convertida para aplicação a campo. Sagoe et al. (1997) verificaram que, em doses baixas de P é provável que os mecanismos envolvendo ácidos orgânicos, pode não ter liberado quantidades suficientes de P disponível para as plantas, devido a elevada demanda de P pelas plantas no curto período de experimento.

Para a fonte FNR a aplicação de doses de TF, aumentou a produção de MSPA nas doses de P de 50 e 100 mg kg⁻¹ (Tabela 3.4). Este efeito foi mais pronunciado na dose de 50 t ha⁻¹ de TF para ambas doses de P utilizadas. Entretanto, mesmo aumentando a produção de MSPA, para a fonte FNR após a adição de TF ainda assim a maior produção foi observado para a fonte SFT. Resultados semelhantes foram encontrados por Sagoe et al. (1998) em que a produção de MSPA de grama italiana, foram maiores para os fosfatos de rocha tratados com ácidos orgânicos quando comparadas àqueles que não receberam este tratamento, no entanto foram menores do que para fonte de fosfato acidulado (superfosfato simples).

Desta forma, verifica-se que no primeiro cultivo para o solo com baixa capacidade de adsorção de P, é possível aumentar a solubilidade dos fosfatos naturais pela adição de TF. O

aumento na produção de MSPA de plantas de milho observado para a mesma dose de P aplicada (100 mg kg^{-1}) para o tratamento com TF quando comparado ao controle sem adição de TF sugere que, o P adicional foi liberado do pool de P solúvel do FNR. Segundo Kpombrekou-A e Tabatabai (2003), este aumento no pool de P solúvel em água é atribuído ao efeito sinérgico da liberação dos ácidos orgânicos e solubilização dos fosfatos naturais, resultando em maior crescimento e desenvolvimento das plantas.

Além disso, verifica-se que o aumento na produção de MSPA é devido a interação entre os fatores fontes de P, doses de P e doses TF, não sendo, portanto, atribuído ao conteúdo de P presente na TF, tendo em vista que, na maior dose de TF não houve aumento da produção de MSPA (Tabela 3.4). Estes resultados estão de acordo aos encontrados por Kifuko et al. (2007), que verificaram durante o primeiro e segundo cultivo que a aplicação isolada de resíduos orgânicos não aumentou a produção. Isto demonstra a incapacidade destes resíduos em suprir a necessidade de P das plantas.

Avaliando o efeito das doses de P na quantidade de P acumulado, é possível verificar para ambas as fontes, que de modo geral houve respostas significativas para o primeiro cultivo, independente da dose de TF utilizada. A quantidade de P acumulado foi maior estatisticamente para a fonte SFT em comparação ao FNR na dose 100 mg kg^{-1} de P (Tabela 3.4). Estes resultados estão de acordo aos encontrados por Bolan et al. (1994), que verificaram que na dose de 80 mg kg^{-1} de P, as plantas absorveram mais P da fonte fosfato monocálcico (FMC) do que para FNR.

Entretanto, para a dose de 50 mg kg^{-1} de P este efeito só foi observado quando não adicionou TF. Estes resultados indicam que na menor dose de P, a adição de TF aumentou a disponibilidade do FNR não diferido do SFT, sugerido que os ácidos orgânicos oriundos da TF foram mais eficiente em aumentar a disponibilidade de P da fonte de baixa solubilidade, quando comparado ao SFT (Tabela 3.4). Estudos realizados por Kifuko et al. (2007) demonstraram que, a combinação matéria orgânica com fosfato de rocha (60 kg ha^{-1} de P) aumentou consideravelmente a disponibilidade de P em experimento de cada de vegetação e de campo.

Comparando as doses de TF dentro de cada fonte e dose de P, verifica-se que, para a fonte SFT só houve efeito nas maiores doses de TF e de P. Já para o FNR a adição de TF aumentou a quantidade de P acumulado para ambas as doses de P e de TF. Estes resultados mais uma vez comprovam a hipótese testada de que os efeitos da TF no aumento da disponibilidade de P dos fosfatos naturais é maior quando comparado aos fosfatos acidulados

Tabela 3.4 – Efeito de fontes, doses de fósforo e doses de turfa na produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e quantidade de P acumulado pelas plantas de milho no solo LVA no 1º cultivo

Fontes de P	Dose de TF (t ha ⁻¹)	Doses de P (mg kg ⁻¹)					
		0		50		100	
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)							
SFT	0	1,15 Ca	a	42,78 Ba	a	68,65 Ab	a
	25	1,11 Ca	a	38,19 Ba	a	67,63 Ab	a
	50	1,19 Ca	a	43,38 Ba	a	78,46 Aa	a
FNR	0	1,15 Ba	a	7,16 Ab	b	8,74 Ab	b
	25	1,11 Ca	a	12,61 Bab	b	32,56 Aa	b
	50	1,19 Ca	a	15,36 Ba	b	28,21 Aa	b
P acumulado (g vaso ⁻¹)							
SFT	0	1,58 Ca	a	46,31 Ba	a	70,01 Ab	a
	25	1,52 Ca	a	41,42 Ba	a	74,63 Aab	a
	50	1,73 Ca	a	48,47 Ba	a	84,32 Aa	a
FNR	0	1,58 Ba	a	17,18 Ab	b	21,91 Ab	b
	25	1,52 Ca	a	34,45 Ba	a	58,90 Aa	b
	50	1,73 Ca	a	43,10 Ba	a	66,55 Aa	b

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de P para cada dose de TF e fonte de P; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as doses de TF dentro de cada dose e fonte P; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de TF e dose de P. SFT superfosfato triplo; FNR: fosfato natural de reativo.

Avaliando o efeito residual das fontes de P, verifica-se que, para o solo LV, no segundo cultivo houve interação entre os fatores fontes e doses de P e doses de TF na quantidade de P acumulado pela MSPA. Assim como ocorreu no primeiro cultivo, as doses de P aumentou a quantidade de P acumulado independente da dose de TF utilizada (Tabela 3.5). Já a comparação entre as fontes de P demonstra que, o P prontamente disponível foi adsorvido pelos óxidos de Fe e de Al, reduzindo a disponibilidade deste nutriente para a fonte SFT, diferindo estatisticamente do FNR para as doses de 50 e 100 mg kg⁻¹. Devido a elevada capacidade de adsorção de P deste solo, só houve efeito para as doses de TF na maior dose de P da fonte FNR. Estes resultados sugerem que neste solo a interação ácidos orgânicos oriundos da TF e solubilização de P da fonte FNR só ocorre em doses elevadas de TF.

Tabela 3.5 – Efeito de fontes, doses de fósforo e doses de turfa na quantidade de P acumulado pela parte aérea das plantas de milho solo LV no 2º cultivo

Fontes de P	Doses de TF (t ha ⁻¹)	P acumulado (g vaso ⁻¹)					
		Doses de P (mg kg ⁻¹)					
		0		50		100	
SFT	0	1,69 Ca	a	18,89 Bb	b	32,28 Aa	b
	25	1,93 Ca	a	22,17 Bab	b	38,13 Aa	b
	50	2,97 Ca	a	28,77 Ba	b	39,34 Aa	b
FNR	0	1,69 Ca	a	35,39 Ba	a	47,07 Ab	a
	25	1,93 Ca	a	38,62 Ba	a	69,78 Aa	a
	50	2,97 Ca	a	39,06 Ba	a	77,95 Aa	a

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de P para cada dose de TF e fonte de P; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as doses de TF dentro de cada dose e fonte P; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de TF e dose de P. SFT superfosfato triplo; FNR: fosfato natural de Arad.

No segundo cultivo não houve interação tripla significativa ($P \leq 0,05$) entre os fatores, fontes de P, doses de TF e doses de P para os parâmetros produção de MSPA e quantidade de P acumulado (Tabela 10 do Apêndice B). Neste caso, a comparação entre as fontes e doses de P foi realizada considerando a média das doses de TF. Kpombrekou-A e Tabatabai (2003), verificaram também que, para o parâmetro produção de MSPA, houve interação significativa ($P < 0,05$) para os fatores fontes de P e doses de P. Entretanto, a interação dupla entre ácidos orgânicos e doses de P e a interação tripla entre ácidos orgânicos, fontes de P e doses de P não foram significativas ($P < 0,05$).

O efeito das fontes e doses de P na produção de MSPA e na quantidade de P acumulado no segundo cultivo para o solo LVA está apresentado na Tabela 3.6. A aplicação de doses de P no primeiro cultivo para o solo de baixa capacidade de adsorção e o efeito residual avaliado no segundo cultivo, foi significativo para as fontes SFT e FNR para ambos os parâmetros avaliados. No segundo cultivo não foi observado diferença significativa entre as doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, para a fonte SFT. Já para a fonte FNR a produção de MSPA aumentou com a dose de P aplicado. Comparando as fontes de P, é possível verificar que o P aplicado na forma de FNR apresentou maior efeito residual quando comparado ao SFT. Segundo Kifuko et al. (2007) a relação positiva entre doses de FN e quantidade de P disponível em experimento de incubação e de campo demonstra que: (i) a dissolução dos FN foi favorecida pelo tempo de experimentação,

(ii) o FN é um fertilizante efetivo como fonte de P para as plantas. Se fosse uma cultura com longo período de crescimento a utilização do P dos fosfatos naturais poderia ser mais eficiente, dependendo da reatividade dos FNR.

Assim como observado para a produção de MSPA, no segundo cultivo não houve efeito das doses de TF na quantidade de P acumulado pela MSPA das plantas de milho. Este resultado pode está relacionado a degradação dos ácidos orgânicos, ou a rápida adsorção de P das fontes. Neste caso, as comparações entre as fontes e doses de P foi realizada considerando a média das doses de TF utilizadas e encontra-se na Tabela 3.6. Houve efeito significativo na quantidade de P acumulado em função das doses de P aplicadas para ambas as fontes. Além disso, no segundo cultivo a disponibilidade de P foi maior estatisticamente para a fonte FNR quando comparado ao SFT, o que refletiu na quantidade de P acumulado. Este resultado pode ser explicado pela solubilidade lenta do FNR e pela liberação de P com o passar do tempo, o que confere maior efeito residual a esta fonte. De acordo com Sagoe et al. (1998) os FN que não receberam tratamentos com ácidos orgânicos também foram solubilizados no solo com o tempo, o que demonstra seu efeito residual.

Tabela 3.6 – Efeito de fontes e doses de P na produção de massa seca da parte aérea e na quantidade de P acumulado pelas plantas de milho no solo LVA no 2º cultivo

Fontes de P	Doses de P (mg kg ⁻¹)		
	0	50	100
	MSPA (g vaso ⁻¹)		
SFT	0,72Ba	16,52Ab	19,43Ab
FNR	0,72Ca	22,96Ba	45,87Aa
	P acumulado (mg vaso ⁻¹)		
SFT	1,44Ca	28,74Bb	38,12Ab
FNR	1,44Ca	36,40Ba	68,61Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de P e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P. SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad.

Assim como ocorreu para o segundo cultivo no solo LVA, não houve interação entre os fatores doses de P, doses de TF e fontes de P, para o solo LV para a produção de MSPA nos dois cultivos avaliados e para quantidade de P acumulado no primeiro cultivo, sendo realizado comparações considerando a média das doses de TF (Tabela 3.7). No primeiro cultivo a produção de MSPA foi maior para a fonte de elevada solubilidade do que para a fonte FNR, em ambas doses de P utilizadas, entretanto, no segundo cultivo as maiores produções de MSPA observadas foram para a fonte FNR. Estes resultados, podem ser explicados pelas diferenças entre a solubilidade das fontes, tendo em vista que no primeiro cultivo, o P das fontes aciduladas encontra-se prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas. Sagoe et al. (1997) observaram correlação significativa entre a produção de massa seca, com a fração de P solúvel em água dos fosfatos. Entretanto, no segundo cultivo os processos de adsorção diminuí a disponibilidade de P desta fonte, o que reduz a produção de MSPA. Para a fonte de baixa solubilidade, os processos de adsorção são minimizados devido sua lenta liberação, coincidindo com o período de demanda da cultura no segundo cultivo. Dissolução significativa dos FN nos solos ácidos com baixo teor de Ca e P foi reportado por Waigwa et al. (2003).

Para o solo de elevada capacidade de adsorção de P, a adição de TF não afetou a quantidade de P acumulado pela MSPA no primeiro cultivo (Tabela 3.7). Estes resultados são semelhantes aos encontrados Borggaard et al. (2005) quando avaliaram o efeito de substâncias húmicas na adsorção de P por óxidos de Fe e de Al observaram que a adição de ácidos húmicos não reduziu a quantidade de P adsorvido. A aplicação de doses de P aumentou significativamente

($P \leq 0,05$) a quantidade de P acumulado para o solo LV no primeiro cultivo para ambas as fontes. Estes resultados sugerem que as quantidades de P utilizadas foram suficientes para produzir respostas, tendo em vista o baixo teor de P disponível nestes solos.

Comparando as fontes de P verifica-se que no primeiro cultivo, a maior quantidade de P acumulado ocorreu para a fonte SFT em relação ao FNR. Mesmo no solo em que os processos de adsorção favorece o dreno solo, o fosfato acidulado de elevada solubilidade é rapidamente dissolvido na solução do solo disponibilizando o P para plantas. Entretanto, a dissolução lenta do FNR faz com que no primeiro cultivo o teor de P disponível para o desenvolvimento das plantas seja menor. Kitur (1997) verificou que, em solos ácidos e com baixo teor de P disponível os fosfatos de rocha sofre considerável dissolução e com isso disponibiliza o P na solução do solo.

Tabela 3.7 – Efeito de fontes e doses de P na produção de massa seca da parte aérea e na quantidade de P acumulado pelas plantas de milho no solo LV

Fontes de P	Doses de P (mg kg^{-1})		
	0	50	100
	MSPA (g vaso^{-1})		
	----- 1º cultivo -----		
SFT	1,40 Ca	39,75 Ba	69,87 Aa
FNR	1,40 Ba	14,27 Ab	16,51 Ab
	----- 2º cultivo -----		
SFT	1,41 Ca	14,29 Bb	22,17 Ab
FNR	1,41Ca	26,42 Ba	37,60 Aa
	P acumulado (g vaso^{-1})		
	----- 1º cultivo -----		
SFT	1,94Ca	44,77Ba	75,75Aa
FNR	1,94Ca	33,32Bb	49,19Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de P e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P. SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad.

A interação entre os ácidos orgânicos oriundos da matéria orgânica e os fertilizantes fosfatados, aumentou a disponibilidade de P para as plantas e conseqüentemente a eficiência da adubação fosfatada. Considerando, os problemas associados a elevada capacidade de adsorção de P dos solos tropicais altamente intemperizados, a adoção de sistema de manejo com elevado aporte de matéria orgânica, poderá refletir em aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados.

A eficiência agronômica dos fosfatos naturais aplicados diretamente no solo geralmente é baixa. A interação destes fertilizantes com os ácidos orgânicos no solo poderia aumentar a disponibilidade de P e suprir a demanda inicial das culturas, atuando como alternativa a utilização de fertilizantes acidulados, desde que seus preços sejam viáveis em termos econômicos com o dos fertilizantes acidulados. O tratamento dos fosfatos naturais com ácidos orgânicos é procedimento simples e pode ser considerado uma possibilidade para aumentar a quantidade de P disponível dos fosfatos de baixa solubilidade. Este método pode ser importante especialmente onde o ácido sulfúrico não está disponível para produção dos fosfatos acidulados e existe urgente necessidade de diminuir a deficiência de fósforo muito comum nos solos tropicais.

3.4 Conclusões

No primeiro cultivo, houve maior disponibilidade de P da fonte superfosfato triplo em comparação ao fosfato natural nos dois solos estudados.

A adição de tufa aumentou a produção de MSPA e P acumulado pelas plantas de milho cultivados nos solos LVA e LV, os maiores efeitos foram observados para o solo com baixa capacidade de adsorção de P.

A liberação de P dos fosfatos naturais pela adição de turfa foi mais significativa do que a redução da adsorção de P dos fosfatos de elevada solubilidade em água.

O aumento da eficiência agronômica relativa após a adição de turfa foi maior para o fosfato natural reativo, quando comparado ao superfosfato triplo.

Referências

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; MATEUS, R.F. Dry-Matter Production and Phosphorus Accumulation by Maize Plants in Response to the Addition of Organic Acids in Oxisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.38. p.2733–2745, 2007.

- ALCARDE, J.C.; PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 3, p. 196-200, 1980.
- BAHL, G.S.; VIG, A.C.; PAL, Y.; SINGH, A. Effect of greenmanure and cropping on P sorption in some soil of Punjab and Himachal Pradesh. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v.46, p. 574-579, 1998.
- BASAMBA, T.A.; BARRIOS, E.; AMEZQUITA, E.; RAO, I.M.; SINGH, B.R. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. **Soil & Tillage Research**, Olshausenstr, v.91, p.131-142, 2006.
- BOLAN, N.S.; NAIDU, R. MAHIMAIRAJA, S. BASKARAN, S. Influence of low molecular weight organic acids on the solubilisation of phosphates. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18, p. 311-319, 1994.
- BOLLAND, M.D.A.; BOWDEN, J.W. Long-term availability of phosphorus from calcined rock phosphate compared with superphosphate. **Australian Journal of Agriculture Research**, Melbourne, v. 33, p. 1061-1071, 1982.
- CARMO, A.J.B. **Tecnologia e competitividade na indústria de fertilizantes fosfatados**. 1994. 223 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- CHIEN, S.H.; SALE, P.W.G.; HAMMOND, L.L. Comparison of the effectiveness of phosphorus fertilizer products. In: INTERNATIONAL SYPOSIUM ON PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1990. Manila. **Proceedings ...** Manila: IRRI, 1990. p. 143-156.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**. 4th ed. Cary, 1996.
- BORGGGAARD, O.K.; RABEN-LANGE, B.; GIMSING, A.L.; STROBEL, B.W. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. **Geoderma**, Tucson, v.127, p.270-279, 2005.
- 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., 2000.São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 97-102, 1984.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances Agronomy**, Newark, v.37, p.249-315, 1984.

HAYNES, R.J.; MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 59, p.47-63, 2001.

HOROWITZ, N; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS. 2004. p. 665-687.

HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, New Brunswick, v. 152, p. 463-471, 1991.

HUE, N.V.; IKAWA, H.;SILVA. J.A. Increasing plant available phosphorus in na ultisol with yard waste compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 25, p.3292-3303, 1994.

IYAMUREMYE, F.;DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advance Agronomy Journal**,CIDADE, v.75, p.457-461, 1996.

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 10, p. 159-206, 1978.

KITUR, M.J.Y. **Response of maize to phosphorus released from Minjingu rock phosphate and farmyard manure applications in an Oxidic Haplustult**. (Dissertation) - Sokoine University, Morogoro, Tanzania, 1997

KIFUKO, M.N.; OTHIENO, C.O.; OKALEBO, J.R.; KIMENYE, L.N.; NDUNG'U, K.W.; KIPKOECH, A.K. Effect of combining organic residues with minjingu phosphate rock on sorption and availability of phosphorus and maize production in acid soils of Western Kenya. **Experimental Agriculture**, Bangor, v. 43, p. 51-66, 2007.

KPOMBLEKOU-A, K., TABATABAI, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**, New Brunswick, v.158, p. 442-453, 1994.

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M.A. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. **Agriculture Ecosystem Environmental**, Zurich, v. 100, p.275-284, 2003.

LOBO, M.G.; SILVA,R.M. Produção de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 73-102.

LOPES, A.S. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: SIMPÓSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos; ANDA, 2003. 1 CD-ROM

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.

MESQUITA FILHO, M.V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Tucson, v.58, p.107-123, 1993.

MOGHIMI A.; LEWIS, D.G.; OADES, J.M. Release of phosphates from calcium phosphates by rhizosphere products. **Soil Biology Biochemistry**, Brisbane, v.10, p. 277-281, 1978.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.; LAGO, F.J. Resposta do fósforo a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, 2006.

RIEDER, J.H. Destinação racional dos jazimentos fosfáticos nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 1986, Brasília. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1986. cap. 3, p. 135-172.

SAGOE, C.I.; ANDO, T.; KOUNO, K. NAGAOKA, T. Effects of organic acid treatment of phosphate rocks on the phosphorus availability to Italian ryegrass. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo. v. 43 p. 1067-1072, 1997.

SAGOE, C.I.; ANDO, T.; KOUNO, K. NAGAOKA, T. Residual effects of some organic acid-treated phosphate rocks on some soil properties and phosphate availability. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v. 44 p. 627-634, 1998.

SAS INSTITUTE. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures.** Cary, 1996.

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

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction.** New York:Wiley Interscience, 1994. 443 p.

WAIGWA, M.W.; OTHIENO, C.O.; OKALEBO, J.R. Phosphorus availability as affected by the application of phosphate rock combined with organic materials to acid soils in Western Kenya. **Experimental Agriculture**, Bangor, v.39, p. 395–407, 2003.

4 EFEITO DA ADIÇÃO DE FONTES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO

Resumo

O carbono orgânico derivado da matéria orgânica mais humificada, é mais resistente ao ataque microbiano, aumentando assim sua persistência no solo. As substâncias húmicas tais como ácidos húmicos e fúlvicos reduzem a adsorção de P no solo, sendo este mecanismo importante para o aumento da eficiência da adubação fosfatada. Desta forma, o objetivo avaliar o efeito da adição de fontes de substâncias húmicas na eficiência agronômica das fontes de P. Tendo como hipótese de que a eficiência agronômica das fontes de P é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas quando comparada à adição de turfa. Este estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, utilizando vasos contendo 3 kg de terra. Os tratamentos constaram de 2 solos (Latosolo vermelho amarelo - LVA e Latossolo vermelho - LV), 2 fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo de Arad - FNR) e 2 fontes de substâncias húmicas - FSH (condicionador orgânico de solo - CO e turfa -TF). As fontes de P foram aplicadas em dose constante de 75 mg kg⁻¹ de P com base no P total. O CO de solo, foi aplicado em doses que correspondem a 0, 300 e 600 L ha⁻¹. Para a TF as doses foram de 0, 10 e 20 t ha⁻¹. As fontes de P foram misturadas às amostras de solo e homogeneizadas, sendo aplicadas na forma granulada e farelada, para SFT e FNR, respectivamente. Os vasos foram arranjados em um esquema de blocos completos casualizados com três repetições, sendo um fatorial de 2 solos x 2 fontes de P x 2 fontes de SH x 3 doses de FSH. Comparando as fontes de SH, é possível verificar que a produção de MSPA e quantidade de P acumulado foram maiores para o CO (300 L ha⁻¹) em relação a TF (10 t ha⁻¹) para as ambas as fontes de P no solo LVA. Isto pode ser explicado pelo fato de que, os ácidos húmicos do CO estão prontamente disponíveis para reagir com os sítios de adsorção de P, bloqueando-os, e com isto reduz a adsorção deste nutriente. Desta forma é possível concluir que, a aplicação do condicionador orgânico a base de substância húmicas aumentou a produção de MSPA e a quantidade de P acumulado, com maiores efeitos para o solo de baixa capacidade de adsorção de P. A eficiência agronômica das fontes SFT e FNR é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas, quando comparado a adição de turfa.

Palavras-chave: Fertilizantes fosfatados; Ácidos húmicos; Condicionador orgânico; massa seca

Abstract

The organic carbon derived from a much humified organic matter is more resistant to microbial attack, thus increasing its persistence on soil. Humic substances such as humic and fulvic acids reduce P adsorption on soil, consisting in a very important mechanism for improving phosphate fertilization efficiency. Considering that, the aim of this work was to evaluate the effect of the addition of humic substances on the agronomic efficiency of P sources. It was

hypothesized that the agronomic efficiency of P sources is higher after the addition of organic conditioners derived from humic substances when compared to peat addition. The research work was performed under greenhouse conditions in the Department of Soil Sciences at ESALQ/USP, using pots containing 3 kg of soil. Treatments regarded the use of 2 soils (Red-Yellow Latosol - LVA - and Red Latosol - LV), 2 P sources (Triple Superphosphate - SFT - and Arad-reactive natural phosphate - FNR) and 2 sources of humic substances - FSH (organic conditioner - CO - and peat - TF). Phosphorus sources were applied in a constant dose of 75 mg kg^{-1} P based on total P. Soil CO was applied in doses corresponding to 0, 300 and 600 L ha^{-1} . For TF application doses were 0, 1 and 20 t ha^{-1} . Sources of P were mixed to soil samples, homogenized and subsequently applied in the granule and powder shape for SFT and FNR, respectively. Pots were disposed in a randomized complete blocks design with three repetitions, in a factorial of 2 soils x 2 P sources x 2 SH sources x 3 FSH sources. When comparing SH sources, it is possible to verify that the production of MSPA and quantity of accumulated P were higher for CO (300 L ha^{-1}) compared to TF (10 t ha^{-1}) for both sources of P in LVA soil. This can be explained due to the fact that CO humic acids are readily available to react with P adsorption sites, blocking them and reducing the adsorption of this nutrient. This way, it is possible to conclude that the application of organic conditioner derived from humic substances increased the production of MSPA and the quantity of accumulated P, with greater effects for soils with low capacity of P adsorption. The agronomic efficiency of SFT and FNR sources is higher after the addition of an organic conditioner derived from humic substances, if compared to peat adsorption.

Keywords: Phosphate fertilizers; Humic acids; Organic conditioner; Dry matter.

4.1 Introdução

Os solos altamente intemperizados apresentam como principal composição mineralógica da fração argila elevados teores de óxidos de Fe e de Al. Esta característica associada à elevada acidez causa problema de solubilidade dos nutrientes, especialmente no caso do fósforo (P). Em estudos de revisão, Sanchez e Salinas (1981) demonstraram que aproximadamente 82 % dos solos da América Tropical são deficientes em fósforo. De acordo com Malavolta (1976), 75 % dos solos brasileiros apresentam baixos teores de fósforo disponível. A elevada capacidade de adsorção de P destes solos, reduz a eficiência da adubação fosfatada o que torna este nutriente o mais fornecido nas adubações.

Dentre os fatores que podem aumentar a eficiência da adubação fosfatada, destaca-se a participação da matéria orgânica (MO), em que os ácidos orgânicos oriundos da sua decomposição podem ser adsorvidos com grande energia pelos sítios de adsorção, desta forma, estes competem com o fósforo, aumentando assim, a disponibilidade deste nutriente às plantas

(ANDRADE et al., 2003). Neste contexto, a adsorção competitiva é o processo pela qual, ânions orgânicos e P competem pelo mesmo sítio de adsorção nos solos. A eficiência da adsorção competitiva entre ácidos orgânicos e P depende de vários fatores, dentre eles: pH do solo, concentração e tipo de ácido orgânico, capacidade de adsorção dos ácidos, persistência destes no solo e natureza do material adsorvente (VIOLANTE; GIANFREDA 1993).

Estudos realizados por Hue (1991) avaliaram os processos de adsorção competitiva entre ácidos orgânicos e P em estudos de laboratório e experimentos de campo. No primeiro caso, verificou-se que, o malato foi mais eficiente do que ácidos orgânico de elevada massa molecular na competição com o P pelos sítios de adsorção do solo. Porém, na condição de campo, os maiores efeitos na redução da adsorção de P foram observados para os ácidos orgânicos mais resistentes a degradação microbiana, um exemplo neste sentido são os ácidos húmicos e fúlvicos.

Leaver e Russel (1957), já demonstravam que o pré-tratamento num Oxisol da Tanzânia com ácido fúlvico, reduziu em 67 % a adsorção de P. Sibanda e Yong (1996) também verificaram redução significativa na adsorção de P pela gibbsita e goethita, em dois solos após adição de ácidos húmico e fúlvico. A capacidade de adsorção competitiva dos ácidos húmicos e fúlvicos está relacionada ao número de grupos carboxílicos (-COOH). Heng (1989) verificou que pequenas adições de ácidos húmicos e fúlvicos, simulando as condições de campo, reduziram a adsorção de P em pelo menos 10 %, em cinco solos altamente intemperizados da Malásia. Entretanto, ainda faltam resultados de pesquisas avaliando o efeito da adição de fontes de ácidos orgânicos na disponibilidade de fósforo.

Os resultados de pesquisas têm demonstrado que a adsorção de fósforo é apenas reduzida, mas não evitada pela presença da matéria orgânica. No entanto, pequenas reduções neste fenômeno podem ser útil para aumentar a eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados em solos altamente intemperizados e com isso possibilitar maior absorção de P pelas culturas. Desta forma, os objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de fontes de substâncias húmicas na eficiência agronômica das fontes de P, tendo como hipótese de que a eficiência agronômica das fontes de P é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas quando comparada a adição de turfa.

4.2 Desenvolvimento

4.2.1 Material e Métodos

Para avaliar o efeito da adição de fontes de substâncias húmicas na eficiência agronômica das fontes de P, um estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, utilizando vasos contendo 3 kg de terra, previamente corrigido com calcário para elevar a saturação por base a 60 %. Os tratamentos constaram de 2 solos (Latosolo vermelho amarelo - LVA e Latossolo vermelho - LV), 2 fontes de P (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo de Arad - FNR) e 2 fontes de substâncias húmicas - FSH (condicionador orgânico de solo - CO e turfa -TF) (Tabela 1 do Apêndice C). Os solos, as fontes de P e de substâncias húmicas foram caracterizados e estão descritos no capítulo 1. As fontes de P foram aplicadas em dose constante de 75 mg kg⁻¹ de P com base no P total, tendo em vista que no experimento anterior houve resposta para as doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P. Optou-se por utilizar uma dose intermediária que permitisse avaliar a interação do P e as fontes de substâncias húmicas. O CO de solo, foi aplicado em doses que correspondem a 0, 300 e 600 L ha⁻¹. Doses de 250 L ha⁻¹ tem sido recomendado para a cultura da cana-de-açúcar. Para a TF as doses foram de 0, 10 e 20 t ha⁻¹. Tratamentos controles com e sem adição de P e sem fontes de SH foram adicionados (Tabela 1 do Apêndice C). As fontes de P foram misturadas às amostras de solo e homogeneizadas, sendo aplicadas na forma granulada e farelada, para SFT e FNR, respectivamente. As fontes de substâncias húmicas foram aplicadas na forma convencional, sendo na forma líquida para o CO e na forma sólida para a TF. Os demais nutrientes foram adicionados nas quantidades de 200 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia e 200 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl. Os micronutrientes foram fornecidos ao solo na forma de solução contendo as seguintes doses, 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo. Os vasos foram arranjados em um esquema de blocos completos casualizados com três repetições, sendo um fatorial de 2 solos x 2 fontes de P x 2 fontes de SH x 3 doses de FSH. Nove sementes de milho (*Zea mays* L) híbrido Exceller, foram semeadas por vaso e desbastadas para duas plantas oito dias após a emergência. A umidade do solo foi mantida a 70 % da capacidade de campo durante todo o experimento.

As plantas foram colhidas cortando-se a parte aérea 45 dias após a germinação e em seguida foram secas em estufa a 60 °C com circulação forçada de ar. Para avaliar o efeito residual

da aplicação de fontes de fósforo e das fontes de substâncias húmicas o experimento foi conduzido por dois cultivos consecutivos de 45 dias. A concentração de P na parte aérea das plantas foi determinada após a digestão da amostra com $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ pelo método molibdovanadato (MALAVOLTA, VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca da parte aérea (MSPA), teor de P na massa seca, P acumulado na planta e eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de fósforo.

4.2.4 Análise dos dados

Os resultados dos parâmetros avaliados (MSPA e P acumulado) foram submetidos à análise da variância, para verificar a significância dos efeitos das fontes de P, fontes de substâncias húmicas e doses de CO e de TF na produção de MSPA e quantidade de P acumulado. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SISVAR[®] versão 4.0 (FERREIRA, 2000).

A eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P com adição de fontes de substâncias húmicas foi calculada pela fórmula:

$$EAR_i(\%) = \frac{Y_{\text{fonte } i} - Y_{\text{testemunha}}}{Y_{\text{fonte padrão}} - Y_{\text{testemunha}}} \times 100 \quad [4.1]$$

onde:

EAR_i : é a eficiência agrônômica relativa da fonte i ;

$Y_{\text{fonte } i}$: resposta obtida para a produção de massa seca ou P acumulado para fonte i ;

$Y_{\text{fonte padrão}}$: resposta obtida para a fonte padrão de P (SFT 0 FSH), sem adição de fontes de substâncias húmicas;

$Y_{\text{testemunha}}$: é a resposta obtida sem a aplicação de P;

4.3 Resultados e discussão

Os dados originais para o parâmetro produção de massa seca da parte aérea, teor de P na massa seca e P acumulado encontram-se nas Tabelas 2 a 7 do Apêndice C. Estes dados foram submetidos a análise da variância para verificar o efeito dos fatores fontes de P, fontes de substâncias húmicas (SH) e doses de CO e de TF, bem como a interação entre estes fatores na produção de MSPA e P acumulado e consequentemente na eficiência agrônômica relativa. A

análise da variância encontra-se nas Tabela 8 do Apêndice C. O desdobramento das interações significativas foi realizado considerando o maior nível de interação entres os fatores estudados, para cada parâmetro avaliado dentro de cada tipo de solo e cultivo.

Eficiência agronômica de fontes de fósforo com aplicação de fontes de substâncias húmicas

As curvas de respostas para os parâmetros produção de MSPA e P acumulado após a adição de CO nos solos LVA e LV para o primeiro e segundo cultivo encontram-se na Figura 4.1. No solo LVA com baixa capacidade de adsorção de P (438 mg kg^{-1} , descrito no capítulo 1), a produção de MSPA foi maior para a fonte de elevada solubilidade em água quando comparado ao FNR no primeiro cultivo (Figura 4.1A). O mesmo foi observado para a quantidade de P acumulado (Figura 4.1B). Avaliando o efeito residual das fontes de P neste solo, verifica-se que a produção de MSPA foi maior para o FNR, indicando que devido à solubilidade lenta desta fonte, os processos de adsorção de P são minimizados. Já para a fonte SFT com o passar do tempo às formas de P prontamente solúvel (H_2PO_4^- e HPO_4^-) reagem com a superfície dos óxi-hidróxidos de Fe e de Al aumentando sua adsorção, o que reduz sua disponibilidade.

O efeito da adição de CO na produção de MSPA e quantidade de P acumulado foi observado para ambas as fontes de P no primeiro cultivo, com maior resposta para a dose de 300 L ha^{-1} no solo LVA (Figura 4.1A e 4.1B). O aumento na produção de MSPA em função da dose de CO para a fonte SFT no solo de baixa capacidade de adsorção de P, pode ser explicado pela quantidade de ácidos húmicos prontamente disponível que podem bloquear os sítios de adsorção de P, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente. Andrade et al., (2003) verificaram que a aplicação de P após a adição de ácido húmico reduziu a adsorção de P em 39,4 %. Entretanto, para a fonte FNR é necessário ocorrer à dissolução do P desta fonte para que o efeito do CO seja observado. Neste caso, os ácidos húmicos presentes no CO podem liberar H^+ ou complexar o Ca^{2+} , favorecendo a dissolução do fosfato natural, liberando P para as plantas o que leva ao aumento na produção de MSPA. Kpombrekou-A e Tabatabai (2003) verificaram que a comparação da relação P liberado/prótons adicionados do ácido mineral ou dos ácidos orgânicos demonstra claramente o efeito quelante dos ácidos orgânicos na dissolução dos FNR.

A quantidade de P acumulado pelas plantas em função da adição de CO foi mais perceptível à disponibilidade de P no solo, com maiores variações, quando comparado à produção de MSPA. Estes resultados podem ser explicados pela elevada demanda em P pela cultura do

milho, associado à baixa disponibilidade natural de P neste solo (3 mg dm^{-3} , descrito no Capítulo 1), o que caracteriza como elevado potencial para produzir resposta a adubação fosfatada.

A aplicação de 600 L ha^{-1} reduziu a produção de MSPA e a quantidade de P acumulado no primeiro cultivo. Uma possível explicação para isto, seria a formação de pontes metálicas com Fe e Al da solução do solo, devido a grande quantidade de ácidos húmicos prontamente disponível, o que leva ao aumento na adsorção de P. Segundo GUPPY et al., (2005) para que essa adsorção ocorra, é necessária a formação de pontes de cátions entre o composto orgânico e o P. Outro fator a ser considerado para explicar este efeito é a formação de compostos ternários com P (P-orgânico), tornando este nutriente indisponível às plantas no primeiro cultivo. No entanto, com o passar do tempo ocorre à degradação dos ácidos húmicos, liberando o P para as plantas, conforme observado no segundo cultivo, em que na maior dose de CO não houve efeito na redução da produção de MSPA e P acumulado (Figura 4.1A e 4.1B).

Avaliando os efeito residual da aplicação de CO no plantio para o solo LVA, verifica-se que, no segundo cultivo a adição de CO teve menos efeito quando comparado ao primeiro (Figura 4.1A). Neste caso, os sítios de adsorção que estavam bloqueados pelos ácidos húmicos podem ter sido liberados devido à degradação destes pela atividade microbiana, o que leva a readsorção do P disponível. Entretanto, a reação dos ácidos húmicos com a superfície das argilas, pode proteger da degradação, sendo umas das formas que explicam sua maior persistência nos solos, além do tamanho e elevada massa molecular o que aumenta sua recalcitrância. Jones e Edwards (1998) verificaram que a adsorção dos ácidos orgânicos no solo pode se tornar importante mecanismo para diminuir sua biodisponibilidade para atividade microbiana.

De modo geral a produção de MSPA e P acumulado foram menores para o solo LV com elevada capacidade de adsorção de P (1238 mg kg^{-1} de P) quando comparado ao solo LVA nos dois cultivos avaliados (Figura 4.1), não ultrapassando a 40 g vaso^{-1} de MSPA. Isto pode ser explicado pelos processos de adsorção de P neste solo, devido à elevada quantidade de sítios de adsorção, o que diminui a disponibilidade de P às plantas. Esta característica pode justificar também o pouco efeito da adição de CO neste solo para a produção de MSPA e P acumulado nos dois cultivos avaliados (Figuras 4.1C e 4.1D). A quantidade e mineralogia das argilas que confere maior capacidade de adsorção de P do solo, afetam a eficiência dos ácidos húmicos em competir com o P pelos sítios de adsorção (VIOLANTE; CHIARA; GIANFREDA, 1996). Neste caso, a quantidade de ácidos húmicos não foi suficiente para bloquear os sítios de adsorção de P.

Portanto, as diferenças observadas entre as fontes de P, se devem principalmente a solubilidade das mesmas, tendo em vista que, para a produção de MSPA o efeito da fonte FNR no segundo cultivo foi semelhante ao SFT no primeiro cultivo, o que é devido a liberação de P da fonte FNR e a elevada adsorção do P da fonte SFT neste solo.

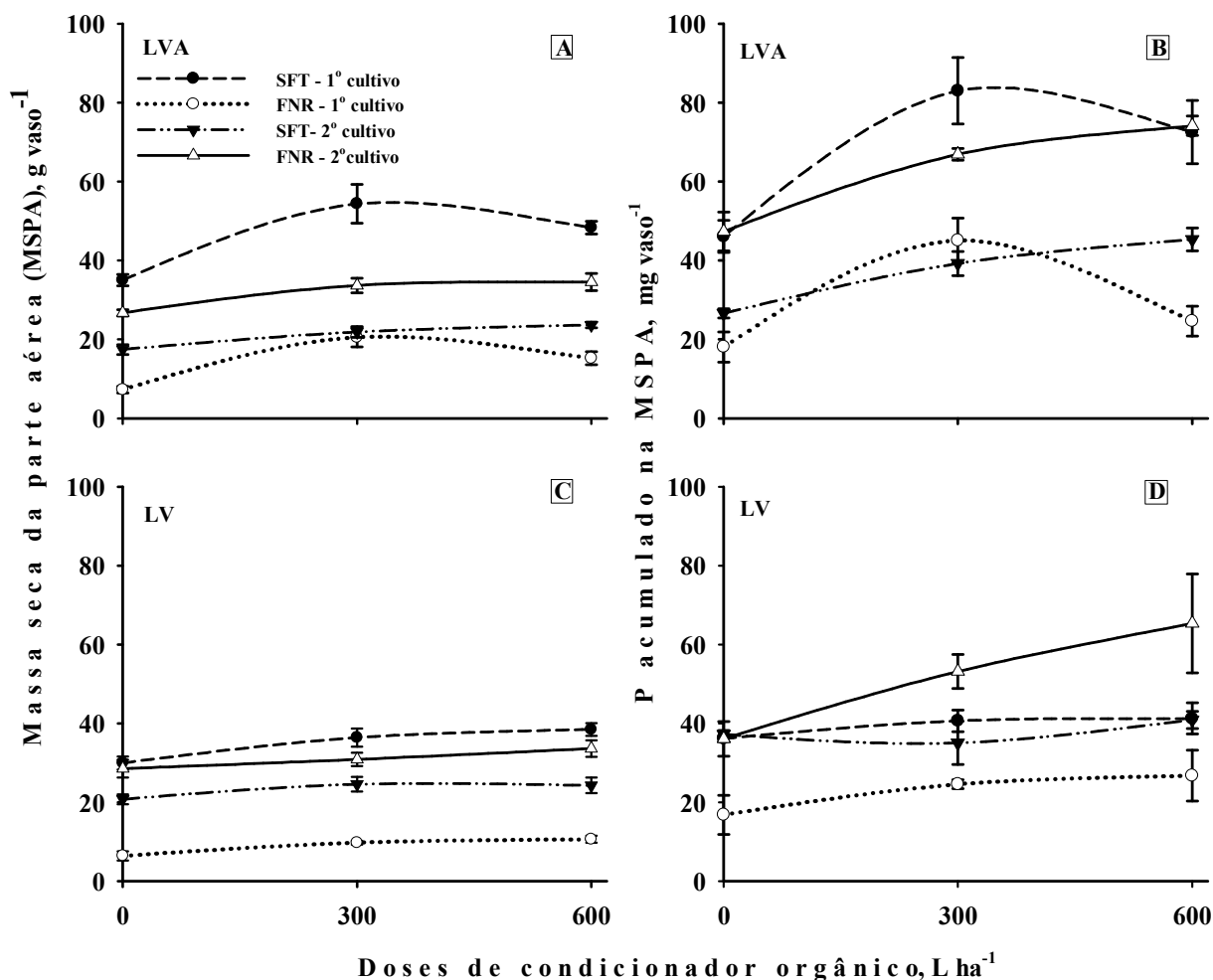


Figura 4.1 – Efeitos de doses de condicionador orgânico na produção de massa seca da parte aérea de plantas milho e P acumulado, para as fontes SFT e FNR no 1º cultivo e 2º cultivo no solo LVA (A e B) e (C e D) LV

A produção de MSPA e a quantidade de P acumulado pelas plantas em função das doses de TF para o solo LVA e LV nos dois cultivos avaliados encontram-se na Figura 4.2. No solo LVA a maior produção de MSPA foi observado para a fonte de elevada solubilidade no primeiro cultivo, seguido do FNR no segundo cultivo (Figura 4.2A). Estes resultados estão relacionados a solubilidade destas fontes, tendo em vista, que o SFT ao ser adicionado ao solo, é rapidamente solubilizado liberando P às plantas. Já para o FNR a liberação do P é mais lenta proporcionando

maiores efeitos no segundo cultivo. O mesmo foi observado para quantidade de P acumulado, no entanto, praticamente não houve diferença entre o SFT (1º cultivo) e o FNR (2º cultivo), o que comprova novamente, o maior efeito residual do FNR (Tabela 4.2B). No solo com baixa capacidade de adsorção de P a aplicação de doses de TF teve pouco influência na produção de MSPA para as fontes SFT e FNR, sendo observado aumento apenas na maior dose de TF (20 t ha⁻¹), para o primeiro cultivo. Já para a quantidade de P acumulado este efeito ficou mais evidente, assim como ocorreu para as doses de CO (Figura 4.1B e 4.2B).

Como foi observado para o solo LVA as maiores produções de MSPA e quantidade de P acumulado no solo LV foram observadas para a fonte SFT e FNR no primeiro e segundo cultivo, respectivamente (Figura 4.2A e 4.2B). No entanto, de modo geral estes parâmetros avaliados apresentaram menores valores para o solo LV quando comparado ao solo LVA, sendo explicado pelo menor disponibilidade de P neste solo, devido os processos de adsorção de P.

A adição de doses de TF visando a redução dos processos de adsorção de P devido a liberação de ácidos orgânicos, praticamente não afetou a produção de MSPA no solo de elevada capacidade de adsorção para as fontes SFT e FNR em ambos os cultivos avaliados. Já para a quantidade de P acumulado houve efeito apenas para a fonte FNR no segundo cultivo. Estes resultados podem ser explicados pela lenta liberação de ácidos orgânicos oriundos da TF, bem como pela menor quantidade de ácidos húmicos, que poderia competir com o P pelos sítios de adsorção, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente às plantas.

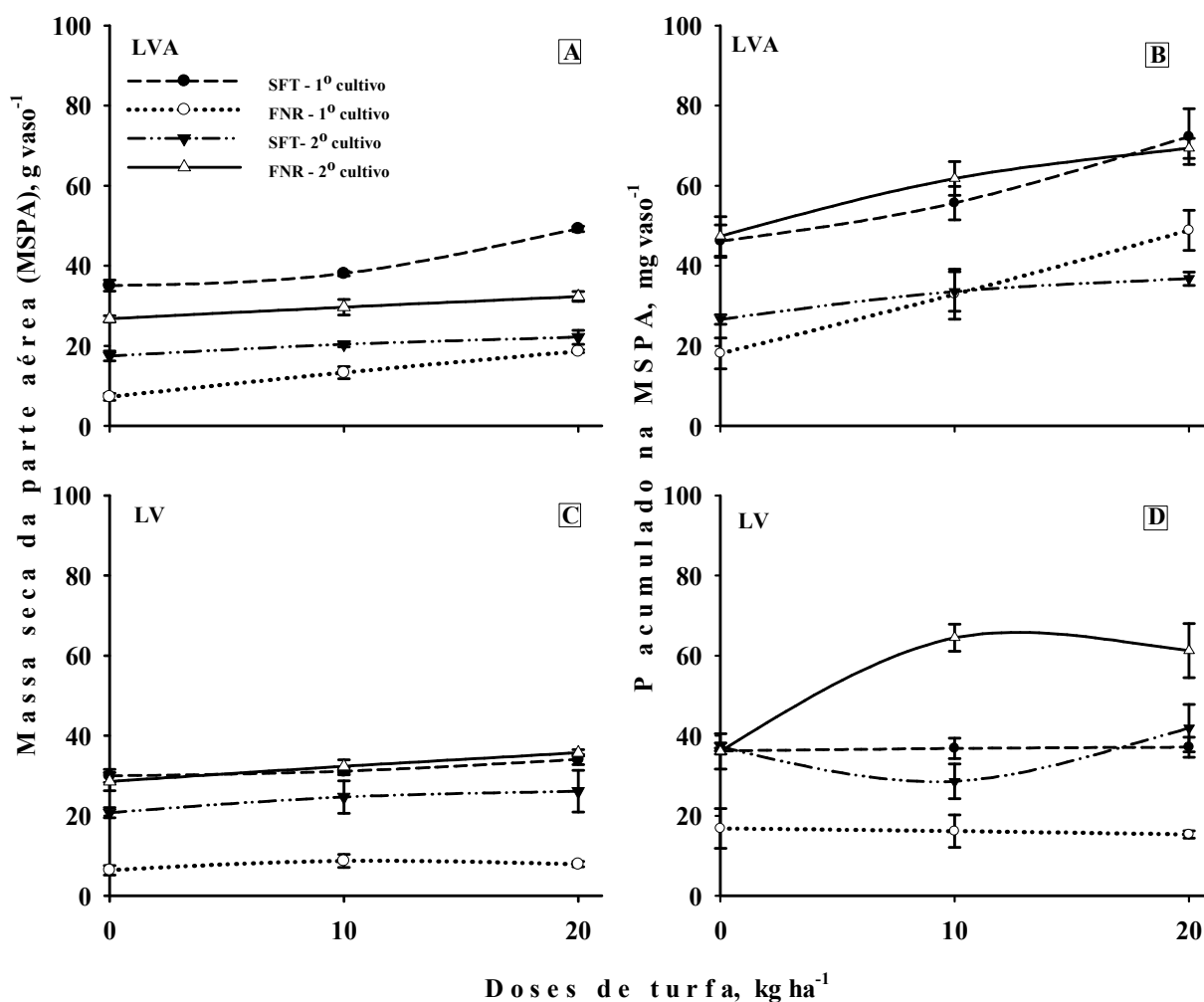


Figura 4.2 – Efeitos de doses de turfa na produção de massa seca da parte aérea de plantas milho e P acumulado, para as fontes SFT e FNR no 1^o cultivo e 2^o cultivo no solo LVA (A e B) e (C e D) LV

O desdobramento das interações significativas entre os fatores fontes de SH (CO e TF), fontes de P e doses de CO e TF na produção de MSPA e quantidade de P acumulado foi realizada levando-se em conta o maior nível de interação e encontra-se na Tabela 4.1. Desta forma, verifica-se que, houve interação significativa ($P \leq 0,05$) entre todos os fatores para produção de MSPA (1^o cultivo) e P acumulado (1^o e 2^o cultivo).

De modo geral no primeiro cultivo para o solo LVA a adição das fontes de SH aumentou tanto a produção de MSPA, quanto a quantidade de P acumulado para ambas as fontes de P, sendo verificado o maior efeito para as doses correspondentes a 300 L ha⁻¹ de CO e de 20 t ha⁻¹ de TF (Tabela 4.1). Alguns fatores podem explicar este resultados, dentre eles as doses elevadas de ácidos húmicos contidos no CO que podem ter aumentado a adsorção de P por ponte metálica

com Fe e Al, conforme proposto por Guppy (2005) e com isso reduzir a disponibilidade de P. Já para a TF a quantidade de ácidos húmicos liberados aumenta com a dose aplicada, mas não é suficiente para promover reações de quelatação com íons metálicos e formar pontes com o P. Neste caso, os ácidos orgânicos oriundos da TF diminui a adsorção de P, além de aumentar a dissolução do FNR, resultando em maior produção de MSPA na maior dose de TF.

Avaliando as fontes de P para o solo LVA no primeiro cultivo, observa-se que, independente das doses de CO e de TF aplicadas, a produção de MSPA e P acumulado foi maior significativamente para a fonte SFT quando comparado ao FNR. Comparando as fontes de SH neste solo e cultivo, é possível verificar que a produção de MSPA foi maior para o CO (300 L ha⁻¹) em relação a TF (10 t ha⁻¹) em ambas as fontes de P. Já nas maiores doses das fontes de SH, só houve diferença significativa para a dose de 20 t ha⁻¹ para a fonte FNR. O mesmo foi observado para a quantidade de P acumulado pela massa seca. Estes resultados comprovam a hipótese de que os maiores efeitos na disponibilidade de P e conseqüentemente na produção de MSPA foi para o CO em comparação a TF. Isto pode ser explicado pelo fato de que, os ácidos húmicos do CO estão prontamente disponíveis para reagir com os sítios de adsorção de P, bloqueando-os, e com isto reduz a adsorção deste nutriente, sugerido que, este é um dos fatores que podem justificar o maior efeito para o CO quando comparado a adição de TF, em que a liberação de ácidos orgânicos é mais lenta.

No solo com elevada capacidade de adsorção de P, a adição de fontes de SH não influenciou a quantidade de P acumulado para a fonte SFT, aumentando apenas para a fonte FNR no segundo cultivo (Tabela 4.1). Neste cultivo, a maior quantidade de P absorvido pelas plantas foi para a fonte FNR do que para o SFT. Considerando que a quantidade de sítios de adsorção de P neste solo é elevada, praticamente não houve diferença entre as fontes de SH para o parâmetro P acumulado. Estes resultados sugerem que, independente da forma em que os ácidos húmicos encontram-se disponíveis e que foram aplicados no primeiro cultivo, o efeito residual no solo com elevada capacidade de adsorção é baixo, tendo em vista que com a degradação destes ácidos os sítios de adsorção ficam livres para as reações de adsorção de P prontamente disponível. De acordo com Afif et al. (1995), o efeito da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção de P é transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado.

Tabela 4.1 – Efeito de fontes de P, fontes de substâncias húmicas e doses de condicionador orgânico e turfa na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e P acumulado

Fontes de SH	Fontes de P	Doses ⁽¹⁾								
		0		1		2				
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)										
----- LVA (1º cultivo) -----										
CO	SFT	35,03	Ca	a	54,36	Aa	a	48,35	Ba	a
	FNR	7,26	Cb	a	20,55	Ab	a	15,23	Bb	b
TF	SFT	35,03	Ba	a	38,04	Ba	b	49,22	Aa	a
	FNR	7,26	Cb	a	13,31	Bb	b	18,63	Ab	a
P acumulado (mg vaso ⁻¹)										
----- LVA (1º cultivo) -----										
CO	SFT	46,12	Ba	a	83,03	Aa	a	72,54	Aa	a
	FNR	18,08	Bb	a	45,10	Ab	a	24,63	Bb	b
TF	SFT	46,12	Ba	a	55,65	Ba	b	72,22	Aa	a
	FNR	18,08	Cb	a	32,88	Bb	b	48,84	Ab	a
----- LV (2º cultivo) -----										
CO	SFT	37,21	Aa	a	35,02	Ab	a	40,86	Ab	a
	FNR	36,08	Ca	a	53,15	Ba	b	65,33	Aa	a
TF	SFT	37,21	ABa	a	28,57	Bb	a	41,89	Ab	a
	FNR	36,08	Ba	a	64,45	Aa	a	61,25	Aa	a

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 correspondem a 0; 10; 20 t ha⁻¹ para a TF e 0; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de CO e TF para cada fonte de P e fonte de SH; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de CO e TF e fonte de SH; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de SH para cada fonte de P e dose de CO e TF; SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad; TF: turfa e CO: condicionador orgânico.

Para a produção de MSPA no solo LV no primeiro cultivo, a comparação das fontes de P e fontes de SH, foi realizada considerando a média das doses de CO e de TF de acordo com o nível de interação significativa e os resultados encontram-se na Tabela 4.2. Neste solo, a produção de MSPA foi maior para o SFT em relação ao FNR. Comparando as fontes de SH no primeiro cultivo para este solo de elevada capacidade de adsorção, é possível verificar que, para ambas as fontes de P o efeito do CO na produção de MSPA é maior do que para a TF. Estes resultados comprovam mais uma vez a hipótese de que, os ácidos húmicos prontamente disponível no CO, diminui a adsorção de P, mesmo no solo com elevada capacidade de adsorção de P. Neste caso, outro fator deve ser considerado, tal como, o período de avaliação no primeiro cultivo de 45 dias, não sendo suficiente para liberação de P da TF.

Tabela 4.2 – Efeito de fontes de P e fontes de substâncias húmicas na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho no solo LV no primeiro cultivo

Fontes de SH	Fontes de P	
	SFT	FNR
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)		
CO	34,93 Aa	8,91 Ba
TF	31,70 Ab	7,68 Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as fontes de P e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de SH; SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad.

A interação entre fontes de P e doses de fontes de SH encontra-se na Tabela 4.3. Avaliando o efeito das doses de CO e TF na produção de MSPA e P acumulado no primeiro e segundo cultivo para os solos LV e LVA, respectivamente, verifica-se que para ambos os parâmetros avaliados houve respostas a adição de fontes de SH. De modo geral tanto a produção de MSPA quando o P acumulado aumentou com a dose de CO e TF aplicadas na média das fontes de SH. Entretanto, os maiores valores foram observados para as doses correspondentes a 600 L ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹ (Tabela 4.3). Comparando as fontes de P, conforme observado anteriormente, houve maior resposta para o SFT no primeiro cultivo para a MSPA e para a fonte FNR no segundo cultivo, considerando o parâmetro P acumulado.

Tabela 4.3 – Efeito de fontes de P e doses de condicionador orgânico e turfa na produção de massa seca da parte aérea de milho e P acumulado

Fontes de P	Doses ⁽¹⁾		
	0	1	2
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)			
----- LV (1º cultivo) -----			
SFT	29,95 Ca	33,75 Ba	36,25 Aa
FNR	6,40 Bb	9,23 Ab	9,25 Ab
P acumulado (mg vaso ⁻¹)			
----- LVA (2º cultivo) -----			
SFT	26,59 Bb	36,41 Ab	41,05 Ab
FNR	47,34 Ca	64,35 Ba	71,73 Aa

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 correspondem a 0; 10; 20 t ha⁻¹ para a TF e 0; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de CO e TF e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P; SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad.

O efeito das doses e fontes de SH foi significativo para produção MSPA e P Acumulado para o solo LV no primeiro cultivo e apenas para o P acumulado no solo LVA no segundo cultivo

(Tabela 4.4.). Estes resultados reforçam a idéia de que para solos com elevada capacidade de adsorção de P o efeito residual dos ácidos húmicos é baixo, devido sua degradação. A eficiência dos ácidos orgânicos em aumentar a disponibilidade de P para as plantas depende do valor de pH do solo, do tipo de ânion orgânico e da persistência destes ânions no solo (STEVENSON, 1986; KIRK, 1999). Comparando as fontes de SH na média das fontes de P, verifica-se que, a produção de MSPA e P acumulado foi maior após a adição de CO quando comparado a de TF. Desta forma, estes resultados comprovam novamente a hipótese de que o aumento na eficiência da adubação fosfatada é maior para o CO quando comparada a TF.

Tabela 4.4 – Efeito de fontes de substâncias húmicas e doses de condicionador orgânico e turfa na produção de massa seca da parte aérea de milho (LV - 1º cultivo) e P acumulado (LVA - 2º cultivo)

Fontes de SH	Doses ⁽¹⁾		
	0	1	2
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)			
----- LV (1º cultivo) -----			
CO	18,18 Ba	23,06 Aa	24,53 Aa
TF	18,18 Ba	19,92 ABb	20,97 Ab
P acumulado (mg vaso ⁻¹)			
----- LV (1º cultivo) -----			
CO	26,50 Ba	32,60 Aa	33,99 Aa
TF	26,50 Aa	26,48 Ab	26,23 Ab
----- LVA (2º cultivo) -----			
CO	36,97 Ca	53,09 Ba	59,74 Aa
TF	36,97 Ca	47,67 Bb	53,05 Ab

⁽¹⁾ As doses 0, 1, 2 correspondem a 0; 10; 20 t ha⁻¹ para a TF e 0; 300; 600 L ha⁻¹ para o CO respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de CO e TF e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de SH.

A EAR das fontes de P em função das fontes de substâncias húmicas e doses de CO e TF encontra-se na Tabela 4.5. A adição de doses de CO e TF aumentou a EAR das fontes SFT no solo LVA para os dois cultivos avaliados. Já para o solo LV os maiores efeitos foram observados no segundo cultivo. De modo geral a aplicação de dose de 300 L ha⁻¹ no solo LVA proporcionou maior EAR para a fonte SFT no primeiro cultivo, utilizando os parâmetros de produção de MSPA e quantidade de P acumulado. O efeito da adição de TF na EAR das fontes de P para o solo LVA foi maior no segundo cultivo avaliado. Estes resultados sugerem que a liberação de ácidos

orgânicos da TF ocorre de forma mais lenta, quando comparada ao CO, em que os ácidos húmicos estão prontamente disponível para reagir com os sítios de adsorção de P.

No solo com elevada capacidade de adsorção de P, o efeito da adição de CO e de TF na EAR da fonte de SFT ficou menos evidente. Este resultado pode está relacionado com a solubilidade desta fonte, com rápida liberação do P o que leva a maior processo de adsorção, neste solo com a elevada quantidade de sítios de adsorção disponíveis. Além disso, as doses de fontes de substâncias húmicas não foram suficientes para reduzir a adsorção de P. No entanto neste solo, a adição de CO e TF aumentou a EAR da fonte FNR. Este efeito é explicado, pelo sincronismo entre a liberação dos ácidos húmicos do CO e da TF e a lenta dissolução do FNR.

Comparando as fontes de substâncias húmicas é possível verificar que de modo geral, a EAR das fontes de P é maior quando da aplicação de CO em relação a TF. A quantidade de ácidos húmicos prontamente disponíveis nesta fonte, pode ser um dos fatores que explica esta diferença. Este efeito é maior para a fonte SFT no primeiro cultivo e para FNR no segundo cultivo avaliado.

Tabela 4.5 – Eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P dentro de cada dose e fontes de substâncias húmicas, solo e cultivo, com base na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e quantidade de P acumulado

Fontes de SH	Doses de fonte de SH	Eficiência Agrônômica Relativa (EAR)			
		LVA ¹		LV ¹	
		Fontes de P ²		Fontes de P	
		SFT	FNR	SFT	FNR
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)					
----- 1º cultivo -----					
CO	0	100	18	100	18
	300	156	57	122	30
	600	139	41	129	32
TF	0	100	18	100	18
	10	109	36	102	24
	20	142	51	113	22
----- 2º cultivo -----					
CO	0	100	160	100	140
	300	134	210	120	152
	600	146	216	117	165
TF	0	100	160	100	140
	10	125	185	121	160
	20	135	200	127	176
P acumulado (mg vaso ⁻¹)					
----- 1º cultivo -----					
CO	0	100	37	100	44
	300	180	95	114	67
	600	158	51	115	72
TF	0	100	37	100	44
	10	119	69	96	36
	20	157	105	103	39
----- 2º cultivo -----					
CO	0	100	183	100	97
	300	151	262	93	144
	600	175	290	110	178
TF	0	100	183	100	97
	10	131	244	76	176
	20	141	272	111	165

¹LVA: Latossolo Vermelho Amarelo; LV: Latossolo Vermelho ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad;

4.4 Conclusões

A aplicação do condicionador orgânico a base de substância húmicas aumentou a produção de MSPA e a quantidade de P acumulado, com maiores efeitos para o solo de baixa capacidade de adsorção de P.

A eficiência agrônômica das fontes SFT e FNR é maior após a adição de condicionador orgânico a base de substâncias húmicas, quando comparado a adição de turfa.

Referências

- AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphatesorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, New Brunswick, v.159, p.207-211, 1995.
- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.
- CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.
- 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., 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1988.
- GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p. 189-202, 2005.
- HENG, L.C. Influence of some humic substances on P-sorption in some Malaysian soils under rubber. **Journal Nature Rubber Research**, Hevea, v.4, p. 186-194, 1989.
- HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, New Brunswick, v.152, p. 463-471, 1991.
- JONES, D.L.; EDWARDS, A.C. Influence of sorption on the biological utilization of two simple carbon substrates. **Soil Biology Biochemistry**, Brisbane, v.30, p. 1895-1902, 1998.

KIRK, G.J.D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal Soil Science**, Bedfordshire, v.50, p. 369-378, 1999.

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M.A. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. **Agriculture Ecosystem Environment**, Zurich, v.100, p. 275-284, 2003.

LEAVER, J.P., RUSSEL, E.W. The reactions between phosphate and phosphate-fixing soils. **Journal of Soil Science**, New Brunswick, v.8, p. 113-126, 1957.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.

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

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technologies for managing Oxisols and ultisols in tropical América. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34. p. 279-406, 1981.

SIBANDA, H.M., YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal Soil Science**, New Brunswick, v.37, p.197-204, 1986.

STEVENSON, F.J. Organic acids in soil. In: MCLAREN, A.D., PETERSON, G.H. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1967. v.1. p. 119-146.

STEVENSON, F.J. **Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley, 1986. 380p.

VIOLANTE, A., GIANFREDA, L. Competition in adsorption between phosphate and oxalate on aluminium hydroxide montmorillonite complex. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.57, p. 1235-1241, 1993.

VIOLANTE, A.; RAO, M.A.; DE CHIARA, A.; GIANFREDA, L. Sorption of phosphate and oxalate by a synthetic aluminum hydroxysulphate complex. **European Journal of Soil Science**, Bedfordshire, v.47, p.241-247, 1996.

5 EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO E FORMAS DE APLICAÇÃO NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO.

Resumo

Em solos tropicais ácidos, a mudança do pH na rizosfera e a produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de adsorção fazem com que o P seja liberado para a solução, por meio da quelatização de oxihidróxidos de Fe e Al, aumentando, assim, a disponibilidade deste nutriente. A adição e a reposição de ácidos orgânicos de baixa massa molecular ao solo poderão contribuir para aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição e forma de aplicação de ácido cítrico na eficiência agronômica das fontes de P. A hipótese testada foi de que, a eficiência agronômica das fontes de fósforo é maior com a reposição de ácido cítrico quando comparado à adição no plantio ou parcelado. Um experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Neste estudo foram utilizados vasos com 3 kg de terra. Os tratamentos foram 2 solos (LVA e LV), 2 fontes de P (SFT e FNR), e dose única de 75 mg kg⁻¹ de P com base no P total. O ácido cítrico (AC) foi adicionado nas doses de 0, 4 e 8 mmol kg⁻¹ de AC, sendo as formas de aplicação avaliadas foram: (i) plantio (a dose completa de AC foi aplicada no plantio); (ii) reposição = plantio + reposição (a dose completa de AC foi aplicada no plantio, sendo feito a reposição aos 7, 14, 21 e 28 dias de 2 e 4 mmol kg⁻¹ de AC correspondendo a 50 % das doses iniciais, o que totalizou 12 e 24 mmol kg⁻¹, respectivamente); (iii) parcelado (as doses de AC foram parceladas em 4 vezes sendo aos 7, 14, 21 e 28 dias, aplicadas 1 e 2 mmol kg⁻¹ de AC totalizando 4 e 8 mmol kg⁻¹ respectivamente, para avaliar o fornecimento contínuo de AC sem o efeito acumulativo). O maior efeito na EAR das fontes de P foi observado no primeiro cultivo, quando houve reposição do AC. Um exemplo neste sentido foram os aumentos na EAR após a reposição de AC em 99 % e 29 % para a fonte SFT e de 60 % e 46 % para a fonte FNR nos solos LVA e LV, respectivamente, na maior dose de AC para o parâmetro produção de MSPA. Estes resultados permitem concluir que a adição de ácido cítrico no solo aumentou tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado, com maiores efeitos no solo de baixa capacidade de adsorção no primeiro cultivo avaliado. A eficiência agronômica relativa das fontes SFT e FNR é maior com a reposição do AC, quando comparada a aplicação em dose única no plantio ou parcelado.

Palavras-chave: Ácidos orgânicos; Fertilizantes fosfatados; Adsorção de fósforo; Eficiência agronômica

Abstract

In tropical soils, changes on the rhizosphere pH and the production of organic acids that compete for adsorption sites make P to be released on the soil solution, through the chelation of Fe and Al oxihydroxides, increasing, therefore, the availability of this nutrient. Adding and

repositioning low molecular weight organic acids on the soil may be able to help on the improvement of the phosphate fertilizers efficiency. This research work aimed to evaluate the effect of the addition and the ways of citric acid application on the agronomic efficiency of P sources. The hypothesis tested herein was that the agronomic efficiency of P sources is higher with the repositioning of citric acid when compared to the addition during planting or partitioned. An experiment was built under greenhouse conditions in the Department of Soil Sciences at ESALQ/USP. For these essays, 3 kg pots were used. Treatments consisted in 2 soils (LVA and LA), 2 P sources (SFT and FNR), and a single P dose (75 mg kg^{-1}) based on total P. Citric acid (AC) was added in the doses 0, 4 and 8 mmol kg^{-1} AC, and the ways of application assessed were: (i) planting (full AC dose applied during planting); (ii) reposition = planting + reposition (full AC dose was applied during planting, with reposition of 2 and 4 mmol kg^{-1} AC on the 7th, 14th, 21st and 28th day corresponding to 50% of initial doses, what totalized 12 and 24 mmol kg^{-1} respectively); (iii) partitioned (AC doses were partitioned in four times, with the application of 1 and 2 mmol kg^{-1} AC on the 7th, 14th, 21st and 28th day, totalizing 4 e 8 mmol kg^{-1} respectively, in order to evaluate the continuous supplying of AC without the accumulative effect). Greater effect of EAR on P sources was observed during the first planting, when there was the repositioning of AC. An example about this was the gains achieved on EAR after AC repositioning of 99% and 29% for SFT source and 60 % and 46 % for FNR source in soils LVA and LV, respectively, in the highest AC dose for the parameter MSPA production. These results allow us to conclude that the addition of citric acid on soil increased as much MSPA production as accumulated P quantity, with higher effects on soils with low capacity of adsorption during the first cultivation evaluated. Relative agronomic efficiency of SFT and FNR sources is higher with AC repositioning, when compared to the application of a single dose in planting or partitioned.

Keywords: Organic acids; Phosphate fertilizers; Phosphorus adsorption; Agronomic efficiency.

5.1 Introdução

No Brasil, as fontes de fósforo mais utilizadas são os superfosfatos e os fosfatos de amônio, correspondendo aproximadamente a 90 % (GOEDERT; REIN; SOUSA, 1988). No entanto, alguns fosfatos naturais têm demonstrado eficiência agrônômica semelhante à das fontes mais solúveis, o que pode ser compensador devido ao menor custo por unidade do nutriente. Neste caso, alguns fatores podem está relacionado, dentre eles destacam-se: (i) tipo da fonte, (ii) propriedades do solo, (iii) práticas de manejo e (iv) teor de matéria orgânica (CHIEN; MENON, 1995).

Após adição da MO ao solo, geralmente ocorre o aumento acentuado na atividade microbiana, e com isso eleva-se a concentração de ácidos orgânicos no solo. Este aumento é transitório e pode estar relacionado à quantidade de C (substrato) facilmente decomponível. De

acordo com Stevenson (1967), a produção de ácidos orgânicos atinge seu nível de equilíbrio durante a decomposição dos resíduos orgânicos e após isso, há redução na concentração no solo. Esse efeito deve-se a rápida decomposição de alguns ácidos orgânicos, deixando livres os sítios de adsorção. Contudo, experimentos recentes demonstraram que a adsorção de citrato em óxidos de Fe diminui sua degradação, prolongando assim, o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção.

Considerando a rápida degradação dos ácidos orgânicos nos solos, a aplicação de resíduos orgânicos, os exsudados de raízes e o metabolismo de microrganismos, atuam como fontes naturais de reposição de ácidos orgânicos, mantendo o processo de bloqueio dos sítios de adsorção de P de maneira mais contínua e, portanto, mais efetiva. No entanto, faltam resultados de pesquisa avaliando o efeito da reposição dos ácidos orgânicos na disponibilidade de P para as plantas.

A participação dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular na redução da adsorção de P e conseqüentemente no aumento da disponibilidade deste nutriente é transitória, desta forma as reações destes com os sítios de adsorção do solo, bem como, sua reposição poderão prolongar este efeito. Entretanto, a concentração dos ácidos orgânicos é regulado pelo sincronismo entre degradação e liberação destes no solo, normalmente mantendo os níveis muito baixo. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição e forma de aplicação de ácido cítrico na eficiência agrônômica das fontes de P. A hipótese testada foi de que a eficiência agrônômica das fontes de fósforo é maior com a reposição de ácido cítrico quando comparado à adição no plantio ou parcelado.

5.2 Desenvolvimento

5.2.1 Material e Métodos

Um experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, com objetivo de avaliar o efeito da forma de aplicação de ácido cítrico na eficiência agrônômica das fontes de P. Neste estudo foram utilizados vasos com 3 kg de terra, sendo corrigido para elevar a saturação por base a 60 %. Assim como no experimento anterior foram utilizados 2 solos (LVA e LV), 2 fontes de P (SFT e FNR), e dose única de 75 mg kg^{-1} de P com base no P total. O ácido cítrico (AC) foi adicionado nas doses de 0, 4 e 8 mmol kg^{-1} de AC, sendo as formas de aplicação avaliadas foram: (i) plantio (a dose completa de AC foi aplicada no plantio); (ii) reposição = plantio + reposição (a dose completa de AC foi aplicada no

plantio, sendo feito a reposição aos 7, 14, 21 e 28 dias de 2 e 4 mmol kg⁻¹ de AC correspondendo a 50 % das doses iniciais, o que totalizou 12 e 24 mmol kg⁻¹, respectivamente); (iii) parcelado (as doses de AC foram parceladas em 4 vezes sendo aos 7, 14, 21 e 28 dias, aplicadas 1 e 2 mmol kg⁻¹ de AC totalizando 4 e 8 mmol kg⁻¹ respectivamente, para avaliar o fornecimento contínuo de AC sem o efeito acumulativo).

O AC foi aplicado na forma de solução, sendo o valor de pH ajustado para a faixa de 5,0-5,5, por meio da adição de soluções de KOH. As fontes de P foram aplicadas na forma granulada e farelada, para SFT e FNR, respectivamente, sendo misturadas às amostras de solo. O nitrogênio foi adicionado na dose de 200 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia e o potássio na dose de 200 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl. Além disso foram fornecidos micronutrientes ao solo na forma de solução contendo as seguintes doses, 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo. Foi utilizado um delineamento de blocos completos casualizados com três repetições (Tabela 1 do Apêndice D). Nove sementes de milho (*Zea mays* L) híbrido Exceller, foram semeadas por vaso e desbastadas para duas plantas oito dias após a emergência. A umidade do solo foi mantida a 70 % da capacidade de campo durante todo o experimento.

Aos 45 dias após a germinação as plantas foram colhidas cortando-se a parte aérea, sendo em seguida secas em estufa a 60 °C com circulação forçada de ar. A concentração de P na parte aérea das plantas foi determinada após a digestão da amostra com HNO₃-HClO₄ pelo método molibdovanadato MALAVOLTA, VITTI; OLIVEIRA, 1997). O experimento foi conduzido por dois cultivos consecutivos para avaliar o efeito residual da aplicação das fontes de P. Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca da parte aérea (MSPA), P acumulado na MSPA, e eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de fósforo.

5.2.4 Análise dos dados

Os resultados dos parâmetros avaliados (MSPA e P acumulado) foram submetidos à análise da variância, para verificar a significância dos efeitos das fontes de P, doses de ácido cítrico, forma de aplicação deste no solo na produção de MSPA e P acumulado. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SISVAR[®] versão 4.0 (FERREIRA, 2000).

A eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P com adição de ácido cítrico foi calculada pela fórmula:

$$EAR_i(\%) = \frac{Y_{fonte\ i} - Y_{testemunha}}{Y_{fonte\ padrão} - Y_{testemunha}} \times 100 \quad [6]$$

onde:

EAR_i: é a eficiência agronômica relativa da fonte *i*;

Y_{fonte i}: resposta obtida para a produção de massa seca ou P acumulado para fonte *i*;

Y_{fonte padrão}: resposta obtida para a fonte padrão de P (SFT 0 AC), sem adição de ácido cítrico;

Y_{testemunha}: é a resposta obtida sem a aplicação de P;

5.3 Resultados e discussão

Os dados originais para o parâmetro produção de massa seca da parte aérea, teor de P na massa seca e P acumulado encontram-se nas Tabelas 2 a 7 do Apêndice D. Estes dados foram submetidos a análise da variância para verificar o efeito dos fatores doses de AC e forma de aplicação deste no solo, bem como a interação entre estes fatores na produção de MSPA e P acumulado e consequentemente na eficiência agronômica relativa. A análise da variância encontra-se na Tabela 8 Apêndice D. O desdobramento das interações significativas foi realizado considerando o maior nível de interação entres os fatores estudados, para cada parâmetro avaliado dentro de cada tipo de solo e cultivo.

O efeito das doses de AC e da forma de aplicação na produção de MSPA e quantidade de P acumulado pelas plantas no solo LVA para as fontes de P encontra-se na Figura 5.3. No primeiro cultivo, os maiores valores de produção de MSPA e quantidade de P acumulado foram observados para a fonte de elevada solubilidade em água sem adição de AC (Figura 5.3A). Por meio das curvas de respostas verifica-se de modo geral que, a adição de doses de AC aumentou a produção de MSPA e P acumulado (Figuras 5.3A e 5.3B) no primeiro cultivo, no entanto, este efeito varia de acordo com a forma de aplicação do AC.

Para a fonte SFT no solo com baixa capacidade de adsorção de P (LVA) a reposição do ácido cítrico aumentou tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado. Estes resultados sugerem que, apesar da rápida degradação do AC no solo, a reposição deste pode prolongar os efeitos de bloqueio dos sítios de adsorção de P, aumentando assim a disponibilidade deste nutriente para as plantas. A aplicação de AC em dose única no plantio promoveu ligeiro aumento nos parâmetros avaliados (MSPA e P acumulado), já o parcelamento das doses praticamente não afetou a produção de MSPA para a fonte SFT. Resultado semelhantes foram

encontrados por Pacheco e Silva et al., (2009). Para a fonte FNR, a reposição de AC também aumentou a produção de MSPA. Este resultado demonstra que, a reposição do ácido cítrico pode ter contribuído para aumentar a dissolução do FNR e conseqüentemente a liberação de P. Devido a baixa concentração de AC utilizada no parcelamento (1 e 2 mmol kg⁻¹), as doses deste ácido orgânico não foram suficientes para produzir respostas. Além disso, os ácidos orgânicos de baixa massa molecular são degradados rapidamente, o que diminui sua participação na redução da adsorção de P com o passar do tempo. Andrade et al., (2007) verificaram que o efeito dos ácidos orgânicos no bloqueio dos sítios de adsorção pode ocorrer por um período mais longo (30 dias).

No segundo cultivo avaliado, tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado foram maiores para a fonte FNR (Figuras 5.3C e 5.3D). O efeito das doses de ácido cítrico e a forma de aplicação do primeiro cultivo, teve pouco efeito nos parâmetros avaliados no segundo cultivo, sendo observado aumento na produção de MSPA apenas para a fonte FNR. Estes resultados indicam a baixa persistência do AC no solo, tendo em vista que, o mesmo foi aplicado no primeiro cultivo sendo degradado com o passar do tempo, e com isto os sítios de adsorção são liberados para reações com o P. Isto é um dos fatores que explicam o menor efeito no segundo cultivo. Para o parâmetro P acumulado, assim como ocorreu no experimento com fontes de SH, o mesmo apresentou maior variação em função das doses de AC quando comparado a produção de MSPA nos dois cultivos avaliados.

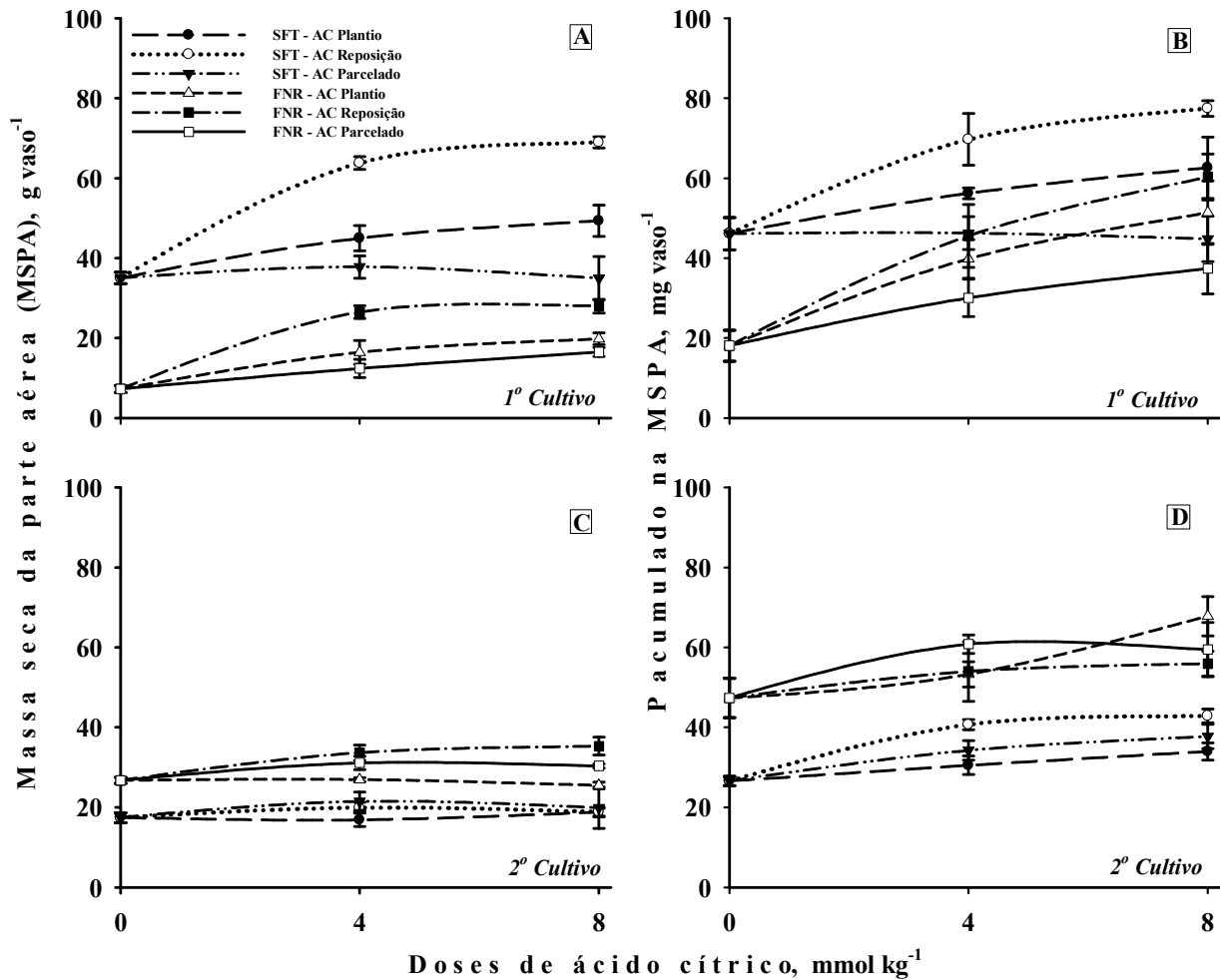


Figura 5.3 – Efeitos de doses de ácido cítrico e forma de aplicação na produção de massa seca da parte aérea de plantas milho e P acumulado, para as fontes SFT e FNR no solo LVA no 1º cultivo (A e B) e 2º cultivo (C e D)

As curvas de respostas para produção de MSPA e P acumulado em função das doses de AC e forma de aplicação no solo LV e fontes de P encontram-se na Figura 5.4. Neste solo, a adição de doses de AC praticamente não aumentou a produção de MSPA para a fonte SFT, independente da forma de aplicação. Diante disso, é provável que no solo com elevada capacidade de adsorção de P, os efeitos dos ácidos orgânicos em bloquear os sítios de adsorção são minimizados. Entretanto, para a fonte FNR houve um ligeiro aumento quando o AC foi repostado (Figura 5.4A). Desta forma, é possível observar que para esta fonte, a reposição de AC pode ser uma alternativa para aumentar sua dissolução no solo e consequentemente disponibilizar mais P às plantas.

Assim como ocorreu no primeiro cultivo, as doses de AC e forma de aplicação teve pouca influência na produção de MSPA no segundo cultivo, (Figura 5.4C). Dois fatores contribuem para este resultado, tanto a adsorção de P liberado das fontes de P que foram aplicadas no primeiro cultivo, quanto a rápida mineralização do AC adicionado no plantio, o que reduz seu efeito na disponibilidade de P. Considerando que a reposição de AC no primeiro cultivo aumentou a disponibilidade de P às plantas, este efeito se estendeu ao segundo cultivo, ocorrendo ligeiro aumento para a fonte FNR. Ao contrário do que ocorreu para a produção de MSPA no solo LV, para a quantidade de P acumulado houve resposta a doses de AC e forma de aplicação. Além disso, verifica-se que, o maior efeito foi para a fonte FNR e reposição de AC nos dois cultivos (Figuras 5.4B e 5.4D). Kpombrekou-A e Tabatabai (2003) verificaram por meio de contrastes ortogonais que, a adição de ácido cítrico aumentou a disponibilidade de P e consequentemente a produção de MSPA de plantas de milho com FNR, quando comparado a aplicação isolada desta fonte.

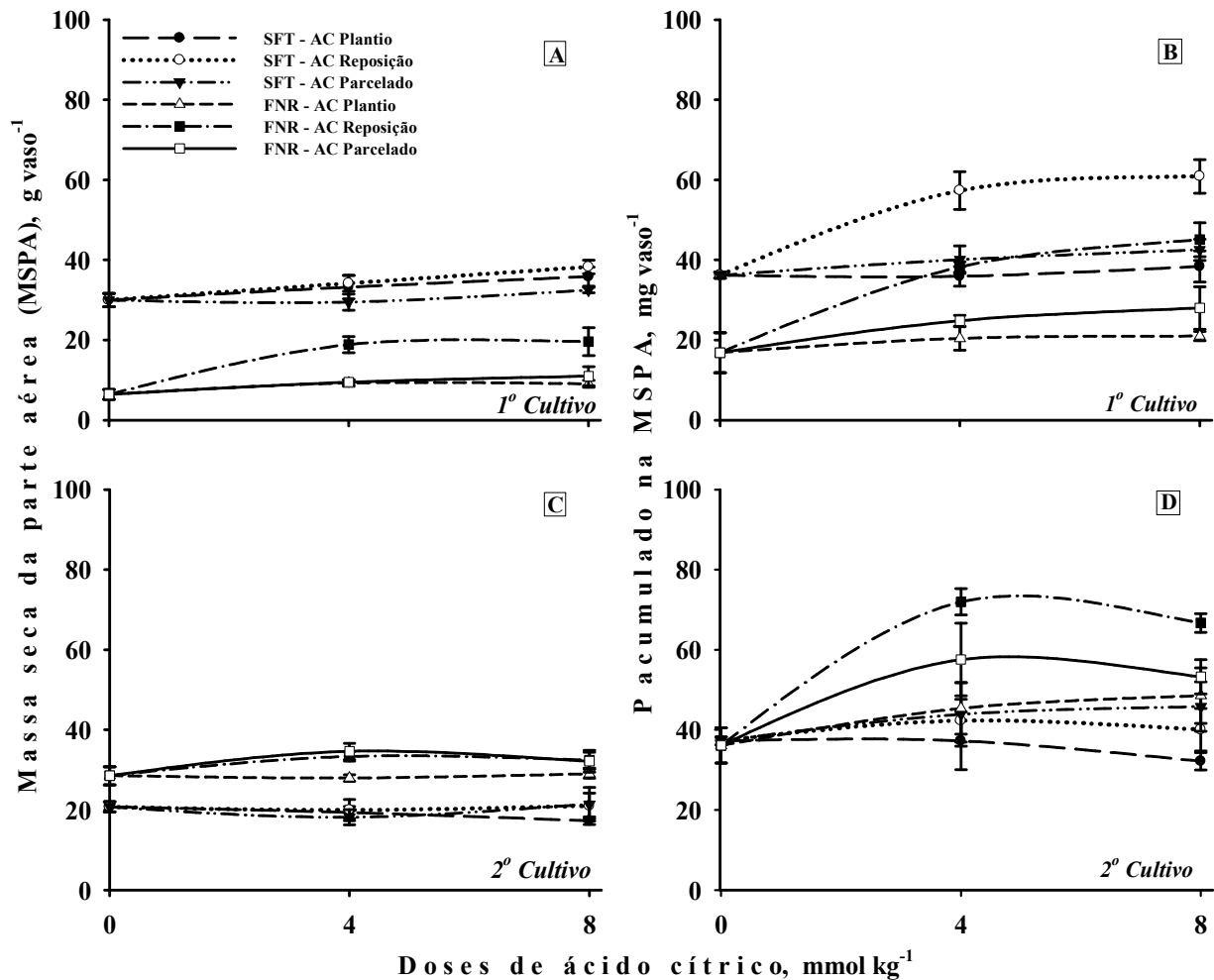


Figura 5.4 – Efeitos de doses de ácido cítrico e forma de aplicação na quantidade de P acumulado pela massa seca da parte aérea de plantas milho, para as fontes SFT e FNR no solo LV no 1º cultivo (A e B) e 2º cultivo (C e D)

O desdobramento da interação entre os fatores fontes de P, doses de AC e forma de aplicação para os parâmetros produção de MSPA e P acumulado encontra-se na Tabela 5.6. A EAR calculada para cada fonte de P dentro de cada dose de ácido cítrico está apresentada na Tabela 5.7. Comparando as fontes de P é possível verificar que, no primeiro cultivo, independente da dose de AC e forma de aplicação, a produção de MSPA e P acumulado é maior para a fonte SFT em relação ao FNR. Com o passar do tempo o P solúvel da fonte SFT é adsorvido a superfície dos óxi-hidróxidos de Fe de Al, diminuindo sua disponibilidade. Entretanto, a dissolução do FNR e consequentemente liberação de P para a solução do solo ocorre lentamente, isto leva a maior produção de MSPA para esta fonte no segundo cultivo. Estes

resultados explicam a maior eficiência agronômica para a fonte FNR em relação ao SFT no segundo cultivo (Tabela 5.7).

Para o solo de baixa capacidade de adsorção de P a adição de doses de AC aumentou a produção de MSPA no primeiro cultivo para ambas as fontes de P, em todas as formas de aplicação, exceto, quando o AC foi parcelado para a fonte SFT (Tabela 5.6). Pacheco e Silva et al. (2009) verificaram aumento na produção de MSPA de milho após a adição de 2,9 kg ha⁻¹ de AC juntamente com adubação nitrogenada. Da mesma forma, foi observado aumento da EAR das fontes de P com a dose de AC para estes parâmetros avaliados, sendo o maior efeito para a dose de 8 mmol kg⁻¹ (Tabela 5.7). Considerando que este ácido orgânico apresenta três grupamentos COOH e que podem reagir com os sítios de adsorção de P, estes resultados sugerem que, a aplicação de AC pode ter reduzido a adsorção de P no solo, pelo bloqueio dos sítios de adsorção de P e pela formação de complexos estáveis com Fe e Al, o que diminui o P precipitado como compostos de baixa solubilidade, e com isto aumenta a disponibilidade deste nutriente às plantas. Violante; Chiara; Gianfreda, (1996) verificaram que, geralmente solos ricos em oxihidróxidos (gibbsita, goethita) têm maior sensibilidade à inibição da adsorção de P por ácidos orgânicos, graças à elevada capacidade desses materiais em formar complexos estáveis de Fe e Al, por troca de ligantes.

De modo geral no segundo cultivo, não houve efeito da adição de AC que foi aplicado no cultivo anterior para produção de MSPA no solo LVA, com exceção quando houve a reposição deste ácido para a fonte FNR. Entretanto, a quantidade de P acumulado aumentou com a aplicação de 8 mmol kg⁻¹ de AC para a fonte SFT quando houve reposição e parcelamento deste ácido orgânico. Para a fonte FNR houve efeito nesta dose independente da forma de aplicação (Tabela 5.6). Estes resultados demonstram que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular são degradados rapidamente no solo quando aplicado somente no plantio. Além disso, fica evidente que doses elevadas de AC aumentam a dissolução dos FNR e conseqüentemente a EAR destes fertilizantes. Bolan, et al., (1994) constataram que a adição de ácido cítrico aumentou a produção de massa seca para as fontes fosfato monocálcico e fosfato natural reativo.

Comparando as formas de aplicação de AC verifica-se que, no primeiro cultivo as maiores produções de MSPA foram observadas quando houve reposição do AC em comparação a aplicação no plantio e na forma parcelado para ambas as fontes de P (Tabela 5.6). O mesmo ocorreu para a EAR das fontes de P calculada com base na produção de MSPA e P acumulado no

solo LVA e LV (Tabela 5.7). Estes resultados comprovam a hipótese de que o efeito da reposição de AC na EAR das fontes de P é maior quando comparado a aplicação no plantio. Tendo em vista que, a persistência dos ácidos orgânicos no solo é baixa e depende de vários fatores, dentre eles, produção e degradação dos ácidos orgânicos, a adoção de sistemas de manejo que favorecem o acúmulo e manutenção da matéria orgânica no solo, a exsudação dos ácidos orgânicos pelas raízes e o metabolismo microbiano, como fonte naturais reposição contínua destes ácidos nos solos, mantém o bloqueio nos sítios de adsorção de P (NOVAIS e SMYTH 1999), especialmente na interface solo-raiz (GAHOONIA et al. 2000; STROM et al. 2002).

Avaliando o efeito residual das fontes de P na quantidade de P acumulado, em função da adição de AC no solo de elevada capacidade de adsorção de P, é possível observar que, para a fonte SFT, não houve efeito da dose e forma de aplicação do AC neste solo. No entanto, para o FNR a dose de 8 mmol kg^{-1} de AC aumentou a disponibilidade de P em todas as formas de aplicação, sendo o maior efeito verificado quando houve reposição do AC (Tabela 5.6).

Os efeitos do AC na EAR das fontes de P dependem da dose utilizada, da forma de aplicação, das características das fontes de P e do tipo de solo. O maior efeito na EAR das fontes de P foi observado no primeiro cultivo, quando houve reposição do AC. Um exemplo neste sentido, foram os aumentos na EAR após a reposição de AC em 99 % e 29 % para a fonte SFT e de 60 % e 46 % para a fonte FNR nos solos LVA e LV, respectivamente, na maior dose de AC para o parâmetro produção de MSPA quando comparado a não adição de AC (Tabela 5.7). Aumentos significativos na EAR das fontes de P também foram observados para a quantidade de P acumulado, após a reposição do AC. Estes resultando novamente comprovam a hipótese de que a reposição de AC aumenta a EAR em comparação a aplicação no plantio. Bolan, et al., (1994) verificaram que, a adição de ácido cítrico e oxálico aumentou a EAR para 73 e 88 % respectivamente.

Tabela 5.6 – Efeito de fontes de P, doses de ácido cítrico e forma de aplicação na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e na quantidade de P acumulado

Fontes de P	Formas de aplicação	Doses de ácido cítrico (mmol kg ⁻¹)		
		0	4	8
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)				
----- LVA (1º cultivo) -----				
SFT	Plantio	35,0 Ba a	44,9 Ab a	49,3 Ab a
	Plant + Rep	35,0 Ca a	63,7 Ba a	68,9 Aa a
	Parcelado	35,0 Aa a	37,8 Ac a	34,9 Ac a
FNR	Plantio	7,2 Ba b	16,4 Ab b	19,8 Ab b
	Plant + Rep	7,2 Ba b	26,5 Aa b	28,0 Aa b
	Parcelado	7,2 Ba b	12,3 Ab b	16,5 Ab b
----- LVA (2º cultivo) -----				
SFT	Plantio	17,4 Aa b	16,8 Ab b	18,8 Aa b
	Plant + Rep	17,4 Aa b	19,9 Aab b	18,8 Aa b
	Parcelado	17,4 Ba b	21,5 Aa b	19,9 ABa b
FNR	Plantio	26,7 Aa a	26,9 Ab a	25,4 Ac a
	Plant + Rep	26,7 Ba a	33,6 Aa a	35,3 Ab a
	Parcelado	26,7 Aa a	31,1 Aa a	30,3 Aa a
P acumulado (mg vaso ⁻¹)				
----- LVA (2º cultivo) -----				
SFT	Plantio	26,5 Aa b	30,5 Ac b	33,9 Ac b
	Plant + Rep	26,5 Ba b	40,6 Aa b	42,8 Aa b
	Parcelado	26,5 Ba b	34,2 Bab b	37,7 Aab b
FNR	Plantio	47,3 Ba a	53,2 Ba a	67,8 Aa a
	Plant + Rep	47,3 Ca a	54,0 ABa a	55,9 Ab a
	Parcelado	47,3 Ba a	60,8 Aa a	59,4 Ab a
----- LV (2º cultivo) -----				
SFT	Plantio	37,2 Aa a	37,2 Aa b	32,1 Ab b
	Plant + Rep	37,2 Aa a	42,2 Aa b	40,0 Aab b
	Parcelado	37,2 Aa a	43,8 Aa b	45,7 Aa a
FNR	Plantio	36,0 Ba a	45,3 ABc a	48,5 Ab a
	Plant + Rep	36,0 Ba a	71,9 Aa a	66,6 Aa a
	Parcelado	36,0 Ba a	57,5 Ab a	53,2 Ab a

[†] Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de AC para cada fonte de P e forma de aplicação; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as formas de aplicação dentro de cada dose de AC e fonte P; letras minúsculas normais nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada dose de AC e forma de aplicação. AC: ácido cítrico; SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural de Arad. Plant + Rep: Plantio + Reposição.

Tabela 5.7 – Eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de P dentro de cada dose de ácido cítrico, forma de aplicação, solo e cultivo, com base na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e quantidade de P acumulado

Fontes de P ¹	Forma de aplicação de AC	Eficiência Agrônômica Relativa (EAR)					
		LVA ²			LV ²		
		mmol kg ⁻¹ AC			mmol kg ⁻¹ AC		
		0	4	8	0	4	8
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)							
----- 1º cultivo -----							
SFT	Plantio	100	129	141	100	111	121
	Plant + Rep	100	184	199	100	114	129
	Parcelado	100	107	99	100	98	108
FNR	Plantio	18	44	54	18	28	28
	Plant + Rep	18	74	78	18	60	64
	Parcelado	18	32	45	18	28	33
----- 2º cultivo -----							
SFT	Plantio	100	103	116	100	94	83
	Plant + Rep	100	121	113	100	95	101
	Parcelado	100	129	120	100	85	101
FNR	Plantio	160	168	159	140	138	143
	Plant + Rep	160	210	219	140	164	160
	Parcelado	160	190	187	140	169	156
P acumulado (mg vaso ⁻¹)							
----- 1º cultivo -----							
SFT	Plantio	100	121	135	100	98	107
	Plant + Rep	100	151	169	100	163	170
	Parcelado	100	99	96	100	112	118
FNR	Plantio	37	85	110	44	53	57
	Plant + Rep	37	97	131	44	107	124
	Parcelado	37	63	80	44	67	76
----- 2º cultivo -----							
SFT	Plantio	100	118	132	100	98	85
	Plant + Rep	100	159	164	100	113	107
	Parcelado	100	130	144	100	115	121
FNR	Plantio	183	210	268	97	121	131
	Plant + Rep	183	212	217	97	195	182
	Parcelado	183	237	232	97	153	142

¹ SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; ² LVA: Latossolo Vermelho Amarelo; LV: Latossolo Vermelho. Plant + Rep: Plantio + Reposição.

Considerando a média das formas de aplicação de AC, é possível observar que, houve aumento tanto na produção de MSPA, quanto na quantidade de P acumulado para solo LV com a adição de AC no primeiro cultivo, para ambas as fontes de P (Tabela 5.8). Estes resultados demonstram que, o AC pode ter bloqueado os sítios de adsorção de P aumentando a disponibilidade para as plantas. Andrade et al., (2003) verificaram que, a aplicação ácido cítrico juntos com P no solo LV, reduziu a adsorção/precipitação em 36,6 %. No entanto, no segundo cultivo para o solo LV este efeito só foi significativo para a fonte FNR. Para a fonte de baixa solubilidade os processos de adsorção de P são minimizados devido a lenta liberação do P, sendo que neste caso o AC além de aumentar a dissolução do P desta fonte, reduz sua adsorção. Andrade et al., (2007) observaram que para o LV o processo de mineralização afetou o efeito dos ácidos, principalmente para o AC na disponibilidade de P.

Tabela 5.8 – Efeito de fontes de P e doses de ácido cítrico na produção de massa seca da parte aérea de plantas milho e na quantidade de P acumulado nos cultivos avaliados

Fontes de P	Doses de ácido cítrico (mmol kg ⁻¹)		
	0	4	8
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)			
----- LV (1º cultivo) -----			
SFT	29,9 Ca ⁽¹⁾	32,2 Ba	35,5 Aa
FNR	6,4 Bb	12,5 Ab	13,1 Ab
----- LV (2º cultivo) -----			
SFT	20,7 Ab	19,1 Ab	19,9 Ab
FNR	28,5 Ba	31,9 Aa	31,1 Aa
P acumulado (mg vaso ⁻¹)			
----- LVA (1º cultivo) -----			
SFT	46,1 Ba	57,3 Aa	61,6 Aa
FNR	18,0 Cb	38,4 Bb	49,6 Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de AC e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P. SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad.

O efeito das doses de AC e forma de aplicação na média das fontes de P encontra-se na Tabela 5.9. De modo geral, tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado aumentaram após a adição de AC nos solos. Comparando as formas de aplicação do AC verifica-se no primeiro cultivo que a reposição de AC proporcionou maior produção de MSPA para as doses de AC utilizadas. Diante disto, para a dose de 8 mmol kg⁻¹ de AC houve aumento de 59 e

99 % para os parâmetros MSPA e P acumulado para solo LV no primeiro cultivo (Tabela 5.9). Estes resultados indicam que mesmo no solo com elevada capacidade de adsorção de P a adição de AC pode bloquear os sítios de adsorção de P e com isso aumentar a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Fernandez (1995) observou que, em solos mais oxídicos, com elevada capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), a adição prévia de sacarose aumentou o valor de P remanescente em solução, correspondendo à diminuição da adsorção.

Tabela 5.9 – Efeito de doses de ácido cítrico e formas de aplicação na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e na quantidade de P acumulado no primeiro cultivo

Formas de aplicação	Doses de ácido cítrico (mmol dm^{-3})		
	0	4	8
Massa seca da parte aérea (g vaso^{-1})			
----- LV -----			
Plantio	18,1 Ba ⁽¹⁾	21,2 Ab	22,4 Ab
Plant + Rep	18,1 Ba	26,5 Aa	28,9 Aa
Parcelado	18,1 Ba	19,4 ABb	21,7 Ab
P acumulado (mg vaso^{-1})			
----- LVA -----			
Plantio	32,1 Ca	48,0 Bb	56,9 Ab
Plant + Rep	32,1 Ca	57,6 Ba	68,8 Aa
Parcelado	32,1 Ba	38,1 ABc	41,1 Ac
----- LV -----			
Plantio	26,5 Aa	28,1 Ab	29,6 Ac
Plant + Rep	26,5 Ca	47,7 Ba	52,9 Aa
Parcelado	26,5 Ba	32,4 Ab	35,2 Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as doses de AC e letras minúsculas na coluna comparam as formas de aplicação dentro de cada solo. Plant + Rep: Plantio + Reposição.

Avaliando a interação entre as fontes de P e forma de aplicação de AC no primeiro cultivo para o solo LV, observa-se que, para a fonte de elevada solubilidade em água, a maior produção de MSPA ocorreu quando o AC foi aplicado todo no plantio e também com a reposição (Tabela 5.10). Já para a fonte FNR houve aumento apenas quando o AC foi repostado, não diferindo para as demais formas de aplicação. Este resultado sugere que neste solo com elevada quantidade de sítios de adsorção, quando o P solúvel é adicionado, rapidamente ocorre o processo de adsorção. No entanto, para as formas de aplicação no plantio e com reposição, são adicionados as maiores

doses iniciais de AC (4 e 8 mmol kg⁻¹ de AC) o que pode explicar este efeito, ao contrário do que ocorre com o parcelamento das doses de AC, tendo vista que as doses iniciais foram de 1 e 2 mmol kg⁻¹ de AC. Além disso, neste cultivo independente da forma de aplicação do AC a produção de MSPA é maior para a fonte SFT quando comparado ao FNR, o que está relacionado a maior disponibilidade de P para a fonte de elevada solubilidade no primeiro cultivo.

Tabela 5.10 – Efeito de fontes de P e formas de aplicação do ácido cítrico na produção de massa seca da parte aérea de milho no solo LV no primeiro cultivo

Fontes de P	Forma de aplicação de ácido cítrico		
	Plantio	Plant + Rep	Parcelado
	Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)		
SFT	32,9 Aa ⁽¹⁾	34,1 Aa	30,6 Ba
FNR	8,2 Bb	14,9 Ab	8,9 Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam as formas de aplicação e letras minúsculas na coluna comparam as fontes de P. SFT: superfosfato triplo e FNR: fosfato natural de Arad. Plant + Rep: Plantio + Reposição.

5.4 Conclusões

A adição de ácido cítrico no solo aumentou tanto a produção de MSPA quanto a quantidade de P acumulado, com maiores efeitos no solo de baixa capacidade de adsorção no primeiro cultivo avaliado.

A eficiência agronômica relativa das fontes SFT e FNR é maior com a reposição do AC, quando comparada a aplicação em dose única no plantio ou parcelado.

Referências

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; MATEUS, R.F. Dry-Matter Production and Phosphorus Accumulation by Maize Plants in Response to the Addition of Organic Acids in Oxisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.38, p.2733–2745, 2007.

BOLAN, N.S.; NAIDU, R. MAHIMAIRAJA, S. BASKARAN, S. Influence of low molecular weight organic acids on the solubilisation of phosphates. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18, p. 311-319, 1994.

FERNANDEZ R, I.E.J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. 1995. 94p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

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., 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M.A. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. **Agriculture Ecosystem Environment**, Zurich, v. 100, p.275-284, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.

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

PACHECO e SILVA, P.H.; SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; VIERA, A.D.; BYRRO, E.C.M.; COSTA, R.R. Resposta em produção de matéria seca e acúmulo de fósforo no milho à aplicação de ácido cítrico no plantio e em cobertura. Fortaleza. **Anais**. CD-ROM. CBCS 2009.

VIOLANTE, A.; RAO, M.A.; DE CHIARA, A.; GIANFREDA, L. Sorption of phosphate and oxalate by a synthetic aluminum hydroxysulphate complex. **European Journal of Soil Science**, Bedfordshire, v.47, p.241-247, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento de avaliação da disponibilidade de P em dois solos com adição de ácidos orgânicos e fonte de substâncias húmicas

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	Trat.	Solo	Fonte P	Fonte Ác. Org.	Doses	Dose P mg kg ⁻¹
1	LVA	x	AC	0	x	41	LV	x	AC	0	x
2	LVA	x	AC	2	x	42	LV	x	AC	2	x
3	LVA	x	AC	4	x	43	LV	x	AC	4	x
4	LVA	x	AC	8	x	44	LV	x	AC	8	x
5	LVA	FMC	AC	0	50	45	LV	FMC	AC	0	50
6	LVA	FMC	AC	2	50	46	LV	FMC	AC	2	50
7	LVA	FMC	AC	4	50	47	LV	FMC	AC	4	50
8	LVA	FMC	AC	8	50	48	LV	FMC	AC	8	50
9	LVA	FMC	AO	0	50	49	LV	FMC	AO	0	50
10	LVA	FMC	AO	2	50	50	LV	FMC	AO	2	50
11	LVA	FMC	AO	4	50	51	LV	FMC	AO	4	50
12	LVA	FMC	AO	8	50	52	LV	FMC	AO	8	50
13	LVA	FMC	AG	0	50	53	LV	FMC	CO	0	50
14	LVA	FMC	CO	150	50	54	LV	FMC	CO	150	50
15	LVA	FMC	CO	300	50	55	LV	FMC	CO	300	50
16	LVA	FMC	CO	600	50	56	LV	FMC	CO	600	50
17	LVA	x	TF	0	x	57	LV	x	TF	0	x
18	LVA	x	TF	20	x	58	LV	x	TF	20	x
19	LVA	x	TF	40	x	59	LV	x	TF	40	x
20	LVA	x	TF	80	x	60	LV	x	TF	80	x
21	LVA	FMC	TF	0	50	61	LV	FMC	TF	0	50
22	LVA	FMC	TF	20	50	62	LV	FMC	TF	20	50
23	LVA	FMC	TF	40	50	63	LV	FMC	TF	40	50
24	LVA	FMC	TF	80	50	64	LV	FMC	TF	80	50
25	LVA	FNR	AC	0	50	65	LV	FNR	AC	0	50
26	LVA	FNR	AC	2	50	66	LV	FNR	AC	2	50
27	LVA	FNR	AC	4	50	67	LV	FNR	AC	4	50
28	LVA	FNR	AC	8	50	68	LV	FNR	AC	8	50
29	LVA	FNR	AO	0	50	69	LV	FNR	AO	0	50
30	LVA	FNR	AO	2	50	70	LV	FNR	AO	2	50
31	LVA	FNR	AO	4	50	71	LV	FNR	AO	4	50
32	LVA	FNR	AO	8	50	72	LV	FNR	AO	8	50
33	LVA	FNR	CO	0	50	73	LV	FNR	CO	0	50
34	LVA	FNR	CO	150	50	74	LV	FNR	CO	150	50
35	LVA	FNR	CO	300	50	75	LV	FNR	CO	300	50
36	LVA	FNR	CO	600	50	76	LV	FNR	CO	600	50
37	LVA	FNR	TF	0	50	77	LV	FNR	TF	0	50
38	LVA	FNR	TF	20	50	78	LV	FNR	TF	20	50
39	LVA	FNR	TF	40	50	79	LV	FNR	TF	40	50
40	LVA	FNR	TF	80	50	80	LV	FNR	TF	80	50

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²FMC: fosfato monocálcico p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural; ³AC: ácido cítrico, AO: ácido oxálico, CO: condicionador orgânico, TF: turfa; ⁴Doses: AC, AO (mmol kg⁻¹); CO (L ha⁻¹) TF (t ha⁻¹).

Tabela 2 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 7 dias de incubação

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	Dose P* mg kg ⁻¹	P (mg dm ⁻³)			Média
						A	B	C	
1	LVA	x	AC	0	x	1	2	2	2
2	LVA	x	AC	2	x	1	1	1	1
3	LVA	x	AC	4	x	1	1	1	1
4	LVA	x	AC	8	x	1	1	1	1
5	LVA	FMC	AC	0	50	12	14	13	13
6	LVA	FMC	AC	2	50	16	19	18	18
7	LVA	FMC	AC	4	50	12	15	14	14
8	LVA	FMC	AC	8	50	13	12	14	13
9	LVA	FMC	AO	0	50	12	14	13	13
10	LVA	FMC	AO	2	50	12	13	12	13
11	LVA	FMC	AO	4	50	13	19	19	17
12	LVA	FMC	AO	8	50	21	13	18	17
13	LVA	FMC	CO	0	50	12	14	13	13
14	LVA	FMC	CO	150	50	19	25	21	22
15	LVA	FMC	CO	300	50	16	17	16	16
16	LVA	FMC	CO	600	50	14	13	16	14
17	LVA	x	TF	0	x	1	2	2	2
18	LVA	x	TF	20	x	1	2	2	2
19	LVA	x	TF	40	x	2	2	2	2
20	LVA	x	TF	80	x	1	2	2	2
21	LVA	FMC	TF	0	50	12	14	13	13
22	LVA	FMC	TF	20	50	19	20	19	20
23	LVA	FMC	TF	40	50	19	18	14	17
24	LVA	FMC	TF	80	50	18	22	22	21
25	LVA	FNR	AC	0	50	11	11	12	11
26	LVA	FNR	AC	2	50	22	25	21	23
27	LVA	FNR	AC	4	50	16	19	21	18
28	LVA	FNR	AC	8	50	19	21	24	21
29	LVA	FNR	AO	0	50	11	11	12	11
30	LVA	FNR	AO	2	50	19	15	15	16
31	LVA	FNR	AO	4	50	19	16	18	17
32	LVA	FNR	AO	8	50	10	11	12	11
33	LVA	FNR	CO	0	50	11	11	12	11
34	LVA	FNR	CO	150	50	13	19	22	18
35	LVA	FNR	CO	300	50	18	13	20	17
36	LVA	FNR	CO	600	50	19	21	15	18
37	LVA	FNR	TF	0	50	11	11	12	11
38	LVA	FNR	TF	20	50	12	12	18	14
39	LVA	FNR	TF	40	50	19	19	17	19
40	LVA	FNR	TF	80	50	16	18	25	19

Tabela 2 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 7 dias de incubação

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	Dose P*		P (mg dm ⁻³)		
					mg kg ⁻¹	A	B	C	Média
41	LV	x	AC	0	x	1	1	1	1
42	LV	x	AC	2	x	1	1	2	1
43	LV	x	AC	4	x	1	1	2	1
44	LV	x	AC	8	x	1	1	2	1
45	LV	FMC	AC	0	50	12	13	14	13
46	LV	FMC	AC	2	50	16	16	13	15
47	LV	FMC	AC	4	50	11	9	15	12
48	LV	FMC	AC	8	50	12	16	11	13
49	LV	FMC	AO	0	50	12	13	14	13
50	LV	FMC	AO	2	50	15	13	11	13
51	LV	FMC	AO	4	50	17	13	16	15
52	LV	FMC	AO	8	50	13	16	11	13
53	LV	FMC	CO	0	50	12	13	14	13
54	LV	FMC	CO	150	50	15	15	16	15
55	LV	FMC	CO	300	50	16	16	17	16
56	LV	FMC	CO	600	50	20	22	15	19
57	LV	x	TF	0	x	2	2	1	2
58	LV	x	TF	20	x	1	2	2	2
59	LV	x	TF	40	x	2	2	2	2
60	LV	x	TF	80	x	1	3	2	2
61	LV	FMC	TF	0	50	12	13	14	13
62	LV	FMC	TF	20	50	11	13	13	12
63	LV	FMC	TF	40	50	12	13	15	13
64	LV	FMC	TF	80	50	13	11	11	12
65	LV	FNR	AC	0	50	10	11	10	10
66	LV	FNR	AC	2	50	20	19	22	20
67	LV	FNR	AC	4	50	16	15	13	14
68	LV	FNR	AC	8	50	18	15	15	16
69	LV	FNR	AO	0	50	10	11	10	10
70	LV	FNR	AO	2	50	13	11	15	13
71	LV	FNR	AO	4	50	12	9	13	12
72	LV	FNR	AO	8	50	10	11	9	10
73	LV	FNR	CO	0	50	10	11	10	10
74	LV	FNR	CO	150	50	9	9	9	9
75	LV	FNR	CO	300	50	12	15	13	13
76	LV	FNR	CO	600	50	13	16	9	13
77	LV	FNR	TF	0	50	10	11	10	10
78	LV	FNR	TF	20	50	11	16	15	14
79	LV	FNR	TF	40	50	13	11	12	12
80	LV	FNR	TF	80	50	12	15	14	13

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo LV: Latossolo vermelho; ²FMC: fosfato monocálcico p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural; ³AC: ácido cítrico, AO: ácido oxálico, CO: condicionador orgânico, TF: turfa; ⁴Doses: AC, AO (mmol kg⁻¹); CO (L ha⁻¹) TF (t ha⁻¹).

Tabela 3 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 21 dias de incubação

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	P (mg dm ⁻³)				
					Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	Média
1	LVA	x	AC	0	x	2	2	2	2
2	LVA	x	AC	2	x	2	2	2	2
3	LVA	x	AC	4	x	2	2	2	2
4	LVA	x	AC	8	x	2	2	2	2
5	LVA	FMC	AC	0	50	18	18	16	17
6	LVA	FMC	AC	2	50	16	21	18	18
7	LVA	FMC	AC	4	50	16	17	16	16
8	LVA	FMC	AC	8	50	16	18	16	17
9	LVA	FMC	AO	0	50	18	18	16	17
10	LVA	FMC	AO	2	50	21	17	26	22
11	LVA	FMC	AO	4	50	26	29	24	26
12	LVA	FMC	AO	8	50	24	28	17	23
13	LVA	FMC	CO	0	50	18	18	16	17
14	LVA	FMC	CO	150	50	25	23	22	23
15	LVA	FMC	CO	300	50	22	20	23	22
16	LVA	FMC	CO	600	50	26	19	24	23
17	LVA	x	TF	0	x	2	3	2	2
18	LVA	x	TF	20	x	2	2	2	2
19	LVA	x	TF	40	x	2	2	2	2
20	LVA	x	TF	80	x	2	2	2	2
21	LVA	FMC	TF	0	50	18	18	16	17
22	LVA	FMC	TF	20	50	17	16	22	18
23	LVA	FMC	TF	40	50	15	16	19	17
24	LVA	FMC	TF	80	50	21	17	21	20
25	LVA	FNR	AC	0	50	16	14	15	15
26	LVA	FNR	AC	2	50	18	21	23	21
27	LVA	FNR	AC	4	50	19	26	22	22
28	LVA	FNR	AC	8	50	21	28	24	24
29	LVA	FNR	AO	0	50	16	14	15	15
30	LVA	FNR	AO	2	50	19	17	15	17
31	LVA	FNR	AO	4	50	19	21	22	21
32	LVA	FNR	AO	8	50	12	10	14	12
33	LVA	FNR	CO	0	50	16	14	15	15
34	LVA	FNR	CO	150	50	22	19	19	20
35	LVA	FNR	CO	300	50	17	19	19	18
36	LVA	FNR	CO	600	50	19	21	19	20
37	LVA	FNR	TF	0	50	16	14	15	15
38	LVA	FNR	TF	20	50	19	17	17	18
39	LVA	FNR	TF	40	50	16	16	16	16
40	LVA	FNR	TF	80	50	24	26	24	25

Tabela 3 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 21 dias de incubação

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	(conclusão)				
					Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	Média
41	LV	x	AC	0	x	1	1	1	1
42	LV	x	AC	2	x	1	1	1	1
43	LV	x	AC	4	x	1	1	1	1
44	LV	x	AC	8	x	1	1	1	1
45	LV	FMC	AC	0	50	9	14	11	11
46	LV	FMC	AC	2	50	14	11	9	11
47	LV	FMC	AC	4	50	10	11	14	12
48	LV	FMC	AC	8	50	11	11	13	12
49	LV	FMC	AO	0	50	9	14	11	11
50	LV	FMC	AO	2	50	15	13	13	14
51	LV	FMC	AO	4	50	16	8	7	10
52	LV	FMC	AO	8	50	15	15	9	13
53	LV	FMC	CO	0	50	9	14	11	11
54	LV	FMC	CO	150	50	12	14	9	11
55	LV	FMC	CO	300	50	16	10	12	13
56	LV	FMC	CO	600	50	17	12	13	14
57	LV	x	TF	0	x	1	1	1	1
58	LV	x	TF	20	x	1	1	1	1
59	LV	x	TF	40	x	1	1	1	1
60	LV	x	TF	80	x	1	1	1	1
61	LV	FMC	TF	0	50	9	14	11	11
62	LV	FMC	TF	20	50	11	9	10	10
63	LV	FMC	TF	40	50	13	10	12	12
64	LV	FMC	TF	80	50	11	13	13	12
65	LV	FNR	AC	0	50	9	10	11	10
66	LV	FNR	AC	2	50	13	12	11	12
67	LV	FNR	AC	4	50	13	14	5	10
68	LV	FNR	AC	8	50	10	13	11	11
69	LV	FNR	AO	0	50	9	10	11	10
70	LV	FNR	AO	2	50	12	11	14	12
71	LV	FNR	AO	4	50	10	8	11	10
72	LV	FNR	AO	8	50	9	10	12	10
73	LV	FNR	CO	0	50	9	10	11	10
74	LV	FNR	CO	150	50	8	12	10	10
75	LV	FNR	CO	300	50	11	13	14	12
76	LV	FNR	CO	600	50	13	12	11	12
77	LV	FNR	TF	0	50	9	10	11	10
78	LV	FNR	TF	20	50	14	8	8	10
79	LV	FNR	TF	40	50	14	10	17	14
80	LV	FNR	TF	80	50	12	13	15	13

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo; LV: Latossolo vermelho; ²FMC: fosfato monocálcico p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC: ácido cítrico, AO: ácido oxálico, CO: condicionador orgânico, TF: turfa; ⁴Doses: AC, AO (mmol kg⁻¹); CO (L ha⁻¹) TF (t ha⁻¹).

Tabela 4 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 35 dias de incubação

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P (mg dm ⁻³)			Média
						A	B	C	
1	LVA	x	AC	0	x	1	2	1	1
2	LVA	x	AC	2	x	1	2	1	1
3	LVA	x	AC	4	x	1	1	1	1
4	LVA	x	AC	8	x	2	1	1	1
5	LVA	FMC	AC	0	50	10	9	11	10
6	LVA	FMC	AC	2	50	14	8	11	11
7	LVA	FMC	AC	4	50	14	8	12	12
8	LVA	FMC	AC	8	50	10	10	10	10
9	LVA	FMC	AO	0	50	10	9	11	10
10	LVA	FMC	AO	2	50	10	11	9	10
11	LVA	FMC	AO	4	50	14	12	15	14
12	LVA	FMC	AO	8	50	13	13	17	14
13	LVA	FMC	CO	0	50	10	9	11	10
14	LVA	FMC	CO	150	50	8	12	13	11
15	LVA	FMC	CO	300	50	16	15	12	14
16	LVA	FMC	CO	600	50	16	15	16	16
17	LVA	x	TF	0	x	1	1	2	1
18	LVA	x	TF	20	x	1	1	1	1
19	LVA	x	TF	40	x	1	1	1	1
20	LVA	x	TF	80	x	1	1	1	1
21	LVA	FMC	TF	0	50	10	9	11	10
22	LVA	FMC	TF	20	50	14	14	8	12
23	LVA	FMC	TF	40	50	14	13	12	13
24	LVA	FMC	TF	80	50	11	12	13	12
25	LVA	FNR	AC	0	50	10	13	14	13
26	LVA	FNR	AC	2	50	8	16	13	13
27	LVA	FNR	AC	4	50	14	8	22	15
28	LVA	FNR	AC	8	50	22	12	9	14
29	LVA	FNR	AO	0	50	10	13	14	13
30	LVA	FNR	AO	2	50	14	15	8	12
31	LVA	FNR	AO	4	50	30	11	10	17
32	LVA	FNR	AO	8	50	13	12	10	12
33	LVA	FNR	CO	0	50	10	13	14	13
34	LVA	FNR	CO	150	50	12	8	11	10
35	LVA	FNR	CO	300	50	16	14	17	16
36	LVA	FNR	CO	600	50	14	15	15	15
37	LVA	FNR	TF	0	50	10	13	14	13
38	LVA	FNR	TF	20	50	17	15	13	15
39	LVA	FNR	TF	40	50	14	19	15	16
40	LVA	FNR	TF	80	50	15	20	14	17

Tabela 4 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 35 dias de incubação

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	(conclusão)				
					Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	Média
41	LV	x	AC	0	x	1	2	1	1
42	LV	x	AC	2	x	1	1	1	1
43	LV	x	AC	4	x	1	1	1	1
44	LV	x	AC	8	x	1	1	1	1
45	LV	FMC	AC	0	50	12	12	13	12
46	LV	FMC	AC	2	50	13	15	13	14
47	LV	FMC	AC	4	50	14	12	12	13
48	LV	FMC	AC	8	50	11	12	11	11
49	LV	FMC	AO	0	50	12	12	13	12
50	LV	FMC	AO	2	50	11	17	16	14
51	LV	FMC	AO	4	50	13	13	16	14
52	LV	FMC	AO	8	50	15	14	17	15
53	LV	FMC	CO	0	50	12	12	13	12
54	LV	FMC	CO	150	50	11	11	13	11
55	LV	FMC	CO	300	50	13	12	16	14
56	LV	FMC	CO	600	50	17	15	14	15
57	LV	x	TF	0	x	1	2	1	1
58	LV	x	TF	20	x	1	1	1	1
59	LV	x	TF	40	x	1	1	1	1
60	LV	x	TF	80	x	1	1	1	1
61	LV	FMC	TF	0	50	12	12	13	12
62	LV	FMC	TF	20	50	12	15	11	12
63	LV	FMC	TF	40	50	14	13	14	14
64	LV	FMC	TF	80	50	12	13	12	12
65	LV	FNR	AC	0	50	11	9	10	10
66	LV	FNR	AC	2	50	10	12	11	11
67	LV	FNR	AC	4	50	10	11	12	11
68	LV	FNR	AC	8	50	12	10	11	11
69	LV	FNR	AO	0	50	11	9	10	10
70	LV	FNR	AO	2	50	12	13	13	13
71	LV	FNR	AO	4	50	14	12	12	13
72	LV	FNR	AO	8	50	12	11	13	12
73	LV	FNR	CO	0	50	11	9	10	10
74	LV	FNR	CO	150	50	13	13	13	13
75	LV	FNR	CO	300	50	14	16	16	15
76	LV	FNR	CO	600	50	13	16	14	14
77	LV	FNR	TF	0	50	11	9	10	10
78	LV	FNR	TF	20	50	13	13	12	12
79	LV	FNR	TF	40	50	16	17	13	15
80	LV	FNR	TF	80	50	14	15	16	15

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo; LV: Latossolo vermelho; ²FMC: fosfato monocalcico p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo;

³AC: ácido cítrico, AO: ácido oxálico, CO: condicionador orgânico, TF: turfa; ⁴Doses: AC, AO (mmol kg⁻¹); CO (L ha⁻¹) TF (t ha⁻¹).

Tabela 5 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 49 dias de incubação

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P (mg dm ⁻³)			Média
						A	B	C	
1	LVA	x	AC	0	x	1	1	1	1
2	LVA	x	AC	2	x	2	2	2	2
3	LVA	x	AC	4	x	2	2	1	2
4	LVA	x	AC	8	x	1	1	2	1
5	LVA	FMC	AC	0	50	13	12	11	12
6	LVA	FMC	AC	2	50	10	10	10	10
7	LVA	FMC	AC	4	50	12	10	11	11
8	LVA	FMC	AC	8	50	10	9	9	9
9	LVA	FMC	AO	0	50	13	12	11	12
10	LVA	FMC	AO	2	50	10	8	13	10
11	LVA	FMC	AO	4	50	14	13	14	13
12	LVA	FMC	AO	8	50	17	14	10	14
13	LVA	FMC	CO	0	50	13	12	11	12
14	LVA	FMC	CO	150	50	16	13	12	14
15	LVA	FMC	CO	300	50	14	14	13	14
16	LVA	FMC	CO	600	50	14	15	14	14
17	LVA	x	TF	0	x	1	2	1	2
18	LVA	x	TF	20	x	2	2	2	2
19	LVA	x	TF	40	x	1	1	2	2
20	LVA	x	TF	80	x	1	2	1	1
21	LVA	FMC	TF	0	50	13	12	11	12
22	LVA	FMC	TF	20	50	12	12	12	12
23	LVA	FMC	TF	40	50	9	10	9	9
24	LVA	FMC	TF	80	50	12	12	12	12
25	LVA	FNR	AC	0	50	16	13	15	15
26	LVA	FNR	AC	2	50	17	15	17	16
27	LVA	FNR	AC	4	50	21	16	14	17
28	LVA	FNR	AC	8	50	19	22	22	21
29	LVA	FNR	AO	0	50	16	13	15	15
30	LVA	FNR	AO	2	50	22	17	23	21
31	LVA	FNR	AO	4	50	20	14	19	18
32	LVA	FNR	AO	8	50	11	11	13	12
33	LVA	FNR	CO	0	50	16	13	15	15
34	LVA	FNR	CO	150	50	16	13	15	14
35	LVA	FNR	CO	300	50	14	13	14	13
36	LVA	FNR	CO	600	50	18	19	20	19
37	LVA	FNR	TF	0	50	16	13	15	15
38	LVA	FNR	TF	20	50	20	22	20	21
39	LVA	FNR	TF	40	50	21	19	20	20
40	LVA	FNR	TF	80	50	17	18	17	17

Tabela 5 – Dados originais para a variável teor de P disponível avaliado pelo método da resina de troca iônica após 49 dias de incubação

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Fonte ³ Ác. Org.	Doses ⁴	(conclusão)				
					Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	Média
41	LV	x	AC	0	x	1	2	2	2
42	LV	x	AC	2	x	2	2	1	2
43	LV	x	AC	4	x	2	1	1	2
44	LV	x	AC	8	x	1	2	1	1
45	LV	FMC	AC	0	50	11	16	11	12
46	LV	FMC	AC	2	50	12	14	13	13
47	LV	FMC	AC	4	50	11	11	11	11
48	LV	FMC	AC	8	50	12	14	12	12
49	LV	FMC	AO	0	50	11	16	11	12
50	LV	FMC	AO	2	50	13	16	14	14
51	LV	FMC	AO	4	50	14	13	14	13
52	LV	FMC	AO	8	50	13	13	17	14
53	LV	FMC	CO	0	50	11	16	11	12
54	LV	FMC	CO	150	50	12	17	13	14
55	LV	FMC	CO	300	50	16	13	16	15
56	LV	FMC	CO	600	50	14	14	15	14
57	LV	x	TF	0	x	1	1	1	1
58	LV	x	TF	20	x	2	1	1	1
59	LV	x	TF	40	x	2	2	1	2
60	LV	x	TF	80	x	1	2	1	2
61	LV	FMC	TF	0	50	11	16	11	12
62	LV	FMC	TF	20	50	14	11	13	13
63	LV	FMC	TF	40	50	11	12	12	12
64	LV	FMC	TF	80	50	12	14	13	13
65	LV	FNR	AC	0	50	11	11	12	11
66	LV	FNR	AC	2	50	17	14	14	15
67	LV	FNR	AC	4	50	14	17	12	14
68	LV	FNR	AC	8	50	14	17	10	14
69	LV	FNR	AO	0	50	11	11	12	11
70	LV	FNR	AO	2	50	19	13	14	15
71	LV	FNR	AO	4	50	16	14	20	17
72	LV	FNR	AO	8	50	11	13	12	12
73	LV	FNR	CO	0	50	11	11	12	11
74	LV	FNR	CO	150	50	14	16	16	15
75	LV	FNR	CO	300	50	16	14	20	16
76	LV	FNR	CO	600	50	19	17	15	17
77	LV	FNR	TF	0	50	11	11	12	11
78	LV	FNR	TF	20	50	17	16	17	17
79	LV	FNR	TF	40	50	12	20	14	16
80	LV	FNR	TF	80	50	16	17	17	17

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo; LV: Latossolo vermelho; ²FMC: fosfato monocalcico p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC: ácido cítrico, AO: ácido oxálico, CO: condicionador orgânico, TF: turfa; ⁴Doses: AC, AO (mmol kg⁻¹); CO (L ha⁻¹) TF (t ha⁻¹).

Tabela 6 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para os ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM no solo LVA

Fontes de Variação	G L	Tempo de Incubação (dias)			
		7	21	35	49
		----- Valor F -----			
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	5,88*	2,33 ^{ns}	2,76 ^{ns}	98,47**
Fonte de AOBM. (FA)	1	11,16**	0,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Dose de AOBM (D)	3	16,86**	8,85**	1,12 ^{ns}	1,71 ^{ns}
FP x FA	1	19,96**	40,66**	0,32 ^{ns}	5,40*
FP x D	3	6,53**	0,45 ^{ns}	0,20 ^{ns}	4,58**
FA x D	3	8,18**	3,98*	0,25 ^{ns}	4,50**
FP x FA x D	3	8,21**	7,32**	0,56 ^{ns}	12,40**
C.V. (%)		12,39	13,27	34,43	13,40

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

Tabela 7 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para os ácidos orgânicos de baixa massa molecular - AOBM no solo LV

Fontes de Variação	G L	Tempo de Incubação (dias)			
		7	21	35	49
		----- Valor F -----			
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	0,15 ^{ns}	5,85*	31,99**	1,96 ^{ns}
Fonte de AOBM (FA)	1	10,15**	0,49 ^{ns}	13,06**	2,00 ^{ns}
Dose de AOBM (D)	3	8,35**	1,15 ^{ns}	4,84**	3,14*
FP x FA	1	19,16**	0,07 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,76 ^{ns}
FP x D	3	3,93*	1,03 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,79 ^{ns}
FA x D	3	5,33**	1,30 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,13 ^{ns}
FP x FA x D	3	2,21 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,51 ^{ns}
C.V. (%)		13,84	20,80	10,30	15,28

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

Tabela 8 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para fontes de substâncias húmicas - FSH no LVA

Fontes de Variação	G L	Tempo de Incubação (dias)			
		7	21	35	49
		----- Valor F -----			
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	2,04 ^{ns}	6,92 [*]	10,60 ^{**}	275,62 ^{**}
Fonte de SH (FSH)	1	0,37 ^{ns}	10,50 ^{**}	0,33 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Dose de CO e TF ⁽¹⁾ .(D)	3	17,31 ^{**}	23,67 ^{**}	9,33 ^{**}	18,58 ^{**}
FP x FSH	1	1,38 ^{ns}	11,26 ^{**}	5,29 [*]	81,17 ^{**}
FP x D	3	4,31 [*]	1,94 ^{ns}	0,42 ^{ns}	4,44 [*]
FSH x D	3	3,83 [*]	5,58 ^{**}	2,46 ^{ns}	13,25 ^{**}
FP x FSH x D	3	0,91 ^{ns}	3,23 [*]	0,93 ^{ns}	25,22 ^{**}
C.V. (%)		14,62	9,22	14,97	6,53

^{ns}, ^{*}, ^{**} não significativo e significativo a 5 % e a 1 % pelo teste F respectivamente. ⁽¹⁾ CO: Condicionadores orgânico e TF: turfa.

Tabela 9 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para fontes de substâncias húmicas - FSH no LV

Fontes de Variação	G L	Tempo de Incubação (dias)			
		7	21	35	49
		----- Valor F -----			
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	23,03 ^{**}	0,45 ^{ns}	0,16 ^{ns}	9,10 ^{**}
Fonte de SH (FSH)	1	4,90 [*]	0,17 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,32 ^{ns}
Dose de CO e TF ⁽¹⁾ .(D)	3	5,80 ^{**}	4,34 [*]	19,50 ^{**}	6,15 ^{**}
FP x FSH	1	22,34 ^{**}	1,81 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,45 ^{ns}
FP x D	3	0,12 ^{ns}	0,48 ^{ns}	6,14 ^{**}	2,65 ^{ns}
FSH x D	3	4,16 [*]	0,11 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,65 ^{ns}
FP x FSH x D	3	4,90 ^{**}	0,27 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,30 ^{ns}
C.V. (%)		12,35	18,87	9,79	14,74

^{ns}, ^{*}, ^{**} não significativo e significativo a 5 % e a 1 % pelo teste F respectivamente. ⁽¹⁾ Dose de Condicionador orgânico e turfa.

APÊNDICE B

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento de eficiência agronômica de fontes de P em dois tipos de solos com diferentes teores de matéria orgânica

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose de MO t ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹
1	LVA	SFT	TF	0	0
2	LVA	SFT	TF	0	50
3	LVA	SFT	TF	0	100
4	LVA	SFT	TF	25	0
5	LVA	SFT	TF	25	50
6	LVA	SFT	TF	25	100
7	LVA	SFT	TF	50	0
8	LVA	SFT	TF	50	50
9	LVA	SFT	TF	50	100
10	LVA	FNR	TF	0	0
11	LVA	FNR	TF	0	50
12	LVA	FNR	TF	0	100
13	LVA	FNR	TF	25	0
14	LVA	FNR	TF	25	50
15	LVA	FNR	TF	25	100
16	LVA	FNR	TF	50	0
17	LVA	FNR	TF	50	50
18	LVA	FNR	TF	50	100
19	LV	SFT	TF	0	0
20	LV	SFT	TF	0	50
21	LV	SFT	TF	0	100
22	LV	SFT	TF	25	0
23	LV	SFT	TF	25	50
24	LV	SFT	TF	25	100
25	LV	SFT	TF	50	0
26	LV	SFT	TF	50	50
27	LV	SFT	TF	50	100
28	LV	FNR	TF	0	0
29	LV	FNR	TF	0	50
30	LV	FNR	TF	0	100
31	LV	FNR	TF	25	0
32	LV	FNR	TF	25	50
33	LV	FNR	TF	25	100
34	LV	FNR	TF	50	0
35	LV	FNR	TF	50	50
36	LV	FNR	TF	50	100

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 2 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose	Dose P	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	1,2	1,3	1,0	1,2
2	LVA	SFT	TF	0	50	44,0	34,9	49,6	42,8
3	LVA	SFT	TF	0	100	77,0	57,0	72,0	68,7
4	LVA	SFT	TF	25	0	1,0	1,1	1,2	1,1
5	LVA	SFT	TF	25	50	33,2	41,2	40,1	38,2
6	LVA	SFT	TF	25	100	72,7	66,7	63,5	67,6
7	LVA	SFT	TF	50	0	1,3	1,1	1,2	1,2
8	LVA	SFT	TF	50	50	47,3	43,1	39,8	43,4
9	LVA	SFT	TF	50	100	73,6	78,0	83,8	78,5
10	LVA	FNR	TF	0	0	1,2	1,3	1,0	1,2
11	LVA	FNR	TF	0	50	6,0	6,6	8,9	7,2
12	LVA	FNR	TF	0	100	8,6	8,9	8,7	8,7
13	LVA	FNR	TF	25	0	1,0	1,1	1,2	1,1
14	LVA	FNR	TF	25	50	12,7	12,6	12,5	12,6
15	LVA	FNR	TF	25	100	31,1	34,0	32,6	32,6
16	LVA	FNR	TF	50	0	1,3	1,1	1,2	1,2
17	LVA	FNR	TF	50	50	13,3	17,3	15,4	15,4
18	LVA	FNR	TF	50	100	26,2	32,4	26,1	28,2
19	LV	SFT	TF	0	0	0,9	1,2	0,9	1,0
20	LV	SFT	TF	0	50	43,6	40,6	33,0	39,1
21	LV	SFT	TF	0	100	62,9	75,7	72,7	70,4
22	LV	SFT	TF	25	0	1,6	1,3	1,0	1,3
23	LV	SFT	TF	25	50	40,6	35,8	41,7	39,3
24	LV	SFT	TF	25	100	75,3	65,9	72,8	71,3
25	LV	SFT	TF	50	0	1,3	2,4	1,9	1,9
26	LV	SFT	TF	50	50	32,4	46,0	44,2	40,9
27	LV	SFT	TF	50	100	67,9	67,9	67,8	67,9
28	LV	FNR	TF	0	0	0,9	1,2	0,9	1,0
29	LV	FNR	TF	0	50	10,5	13,1	8,8	10,8
30	LV	FNR	TF	0	100	14,0	13,5	13,1	13,5
31	LV	FNR	TF	25	0	1,6	1,3	1,0	1,3
32	LV	FNR	TF	25	50	11,6	16,8	14,0	14,1
33	LV	FNR	TF	25	100	11,7	13,6	14,2	13,1
34	LV	FNR	TF	50	0	1,3	2,4	1,9	1,9
35	LV	FNR	TF	50	50	13,4	11,1	29,1	17,9
36	LV	FNR	TF	50	100	17,1	17,6	33,9	22,9

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 3 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose	Dose P	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	0,6	0,6	1,0	0,7
2	LVA	SFT	TF	0	50	13,8	16,1	9,1	13,0
3	LVA	SFT	TF	0	100	15,7	22,2	10,7	16,2
4	LVA	SFT	TF	25	0	0,5	0,7	1,0	0,7
5	LVA	SFT	TF	25	50	15,2	19,0	13,7	16,0
6	LVA	SFT	TF	25	100	15,1	27,8	17,2	20,0
7	LVA	SFT	TF	50	0	0,8	0,7	0,7	0,7
8	LVA	SFT	TF	50	50	15,9	24,0	21,9	20,6
9	LVA	SFT	TF	50	100	18,4	28,5	19,3	22,1
10	LVA	FNR	TF	0	0	0,6	0,6	1,0	0,7
11	LVA	FNR	TF	0	50	20,0	18,6	14,3	17,6
12	LVA	FNR	TF	0	100	48,9	32,5	40,4	40,6
13	LVA	FNR	TF	25	0	0,5	0,7	1,0	0,7
14	LVA	FNR	TF	25	50	22,6	31,8	19,3	24,5
15	LVA	FNR	TF	25	100	50,4	49,6	43,3	47,8
16	LVA	FNR	TF	50	0	0,8	0,7	0,7	0,7
17	LVA	FNR	TF	50	50	22,8	30,9	26,4	26,7
18	LVA	FNR	TF	50	100	43,1	59,1	45,5	49,2
19	LV	SFT	TF	0	0	1,0	0,8	1,0	1,0
20	LV	SFT	TF	0	50	11,9	11,3	10,7	11,3
21	LV	SFT	TF	0	100	20,4	26,7	16,0	21,1
22	LV	SFT	TF	25	0	1,9	1,1	0,9	1,3
23	LV	SFT	TF	25	50	15,1	14,2	13,2	14,2
24	LV	SFT	TF	25	100	29,3	19,0	18,2	22,2
25	LV	SFT	TF	50	0	2,2	2,3	1,4	2,0
26	LV	SFT	TF	50	50	18,7	19,2	14,4	17,4
27	LV	SFT	TF	50	100	26,7	21,6	21,6	23,3
28	LV	FNR	TF	0	0	1,0	0,8	1,0	1,0
29	LV	FNR	TF	0	50	24,9	26,7	22,0	24,6
30	LV	FNR	TF	0	100	35,9	26,6	31,2	31,3
31	LV	FNR	TF	25	0	1,9	1,1	0,9	1,3
32	LV	FNR	TF	25	50	30,7	25,0	22,3	26,0
33	LV	FNR	TF	25	100	38,7	44,2	40,2	41,1
34	LV	FNR	TF	50	0	2,2	2,3	1,4	2,0
35	LV	FNR	TF	50	50	26,6	28,7	30,8	28,7
36	LV	FNR	TF	50	100	41,4	39,9	40,2	40,5

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad. TF: turfa.

Tabela 4 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea de plantas de milho no 1º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose t ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	1,26	1,44	1,43	1,37
2	LVA	SFT	TF	0	50	1,11	1,13	1,02	1,09
3	LVA	SFT	TF	0	100	1,24	1,22	1,06	1,17
4	LVA	SFT	TF	25	0	1,59	1,29	1,26	1,38
5	LVA	SFT	TF	25	50	0,98	1,03	1,02	1,01
6	LVA	SFT	TF	25	100	1,20	1,16	0,94	1,10
7	LVA	SFT	TF	50	0	1,56	1,61	1,20	1,45
8	LVA	SFT	TF	50	50	1,01	1,16	1,20	1,12
9	LVA	SFT	TF	50	100	1,57	1,53	1,41	1,51
10	LVA	FNR	TF	0	0	1,26	1,44	1,43	1,37
11	LVA	FNR	TF	0	50	2,35	2,74	2,18	2,42
12	LVA	FNR	TF	0	100	2,47	2,59	2,47	2,51
13	LVA	FNR	TF	25	0	1,59	1,29	1,26	1,38
14	LVA	FNR	TF	25	50	2,84	2,91	2,45	2,73
15	LVA	FNR	TF	25	100	2,29	2,24	2,08	2,20
16	LVA	FNR	TF	50	0	1,56	1,61	1,20	1,45
17	LVA	FNR	TF	50	50	2,68	3,16	2,51	2,79
18	LVA	FNR	TF	50	100	2,77	2,31	2,01	2,36
19	LV	SFT	TF	0	0	1,39	1,32	1,19	1,30
20	LV	SFT	TF	0	50	1,09	1,33	1,56	1,33
21	LV	SFT	TF	0	100	1,38	0,96	1,20	1,18
22	LV	SFT	TF	25	0	1,31	1,46	1,43	1,40
23	LV	SFT	TF	25	50	1,22	0,89	1,21	1,11
24	LV	SFT	TF	25	100	1,12	1,14	0,96	1,07
25	LV	SFT	TF	50	0	1,71	1,23	1,45	1,46
26	LV	SFT	TF	50	50	1,43	1,11	1,21	1,25
27	LV	SFT	TF	50	100	1,55	1,58	2,11	1,74
28	LV	FNR	TF	0	0	1,39	1,32	1,19	1,30
29	LV	FNR	TF	0	50	3,42	3,96	3,43	3,61
30	LV	FNR	TF	0	100	3,00	3,14	3,32	3,15
31	LV	FNR	TF	25	0	1,31	1,46	1,43	1,40
32	LV	FNR	TF	25	50	3,05	3,12	3,23	3,14
33	LV	FNR	TF	25	100	2,77	3,10	1,53	2,47
34	LV	FNR	TF	50	0	1,71	1,23	1,45	1,46
35	LV	FNR	TF	50	50	3,79	3,22	2,33	3,12
36	LV	FNR	TF	50	100	2,01	1,87	2,30	2,06

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 5 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado pela massa seca da parte aérea de plantas de milho no 1º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose	Dose P	P acumulado (g vaso ⁻¹)			Média
				t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	1,5	1,9	1,4	1,6
2	LVA	SFT	TF	0	50	49,0	39,4	50,5	46,3
3	LVA	SFT	TF	0	100	95,5	69,6	75,9	80,4
4	LVA	SFT	TF	25	0	1,6	1,5	1,5	1,5
5	LVA	SFT	TF	25	50	32,7	42,5	40,9	38,7
6	LVA	SFT	TF	25	100	87,1	77,4	59,4	74,6
7	LVA	SFT	TF	50	0	2,0	1,7	1,5	1,7
8	LVA	SFT	TF	50	50	47,6	50,1	47,7	48,5
9	LVA	SFT	TF	50	100	115,5	119,6	118,5	117,9
10	LVA	FNR	TF	0	0	1,5	1,9	1,4	1,6
11	LVA	FNR	TF	0	50	14,0	18,2	19,3	17,2
12	LVA	FNR	TF	0	100	21,3	22,9	21,6	21,9
13	LVA	FNR	TF	25	0	1,6	1,5	1,5	1,5
14	LVA	FNR	TF	25	50	36,0	36,7	30,7	34,5
15	LVA	FNR	TF	25	100	71,2	76,2	67,9	71,7
16	LVA	FNR	TF	50	0	2,0	1,7	1,5	1,7
17	LVA	FNR	TF	50	50	35,7	54,8	38,8	43,1
18	LVA	FNR	TF	50	100	72,3	74,9	52,5	66,6
19	LV	SFT	TF	0	0	1,3	1,6	1,1	1,3
20	LV	SFT	TF	0	50	47,6	54,0	51,3	51,0
21	LV	SFT	TF	0	100	86,7	72,7	87,2	82,2
22	LV	SFT	TF	25	0	2,1	1,9	1,4	1,8
23	LV	SFT	TF	25	50	49,6	31,7	50,4	43,9
24	LV	SFT	TF	25	100	84,3	75,0	69,8	76,4
25	LV	SFT	TF	50	0	2,3	3,0	2,8	2,7
26	LV	SFT	TF	50	50	46,2	51,3	53,5	50,3
27	LV	SFT	TF	50	100	105,0	107,3	142,9	118,4
28	LV	FNR	TF	0	0	1,3	1,6	1,1	1,3
29	LV	FNR	TF	0	50	36,0	51,7	30,3	39,3
30	LV	FNR	TF	0	100	42,0	42,4	43,3	42,6
31	LV	FNR	TF	25	0	2,1	1,9	1,4	1,8
32	LV	FNR	TF	25	50	35,4	52,5	45,3	44,4
33	LV	FNR	TF	25	100	32,3	42,0	21,8	32,0
34	LV	FNR	TF	50	0	2,3	3,0	2,8	2,7
35	LV	FNR	TF	50	50	50,8	35,9	68,0	51,6
36	LV	FNR	TF	50	100	34,4	33,0	77,9	48,4

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 6 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea de plantas de milho no 2º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose	Dose P	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
				t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	1,93	2,04	1,80	1,92
2	LVA	SFT	TF	0	50	1,79	1,99	1,86	1,88
3	LVA	SFT	TF	0	100	1,76	2,05	1,94	1,92
4	LVA	SFT	TF	25	0	1,69	2,11	2,29	2,03
5	LVA	SFT	TF	25	50	1,85	1,40	1,67	1,64
6	LVA	SFT	TF	25	100	2,26	1,61	1,86	1,91
7	LVA	SFT	TF	50	0	2,18	1,99	1,83	2,00
8	LVA	SFT	TF	50	50	1,95	1,43	1,93	1,77
9	LVA	SFT	TF	50	100	2,96	1,67	1,89	2,17
10	LVA	FNR	TF	0	0	1,93	2,04	1,80	1,92
11	LVA	FNR	TF	0	50	1,52	2,16	1,51	1,73
12	LVA	FNR	TF	0	100	2,20	2,55	2,30	2,35
13	LVA	FNR	TF	25	0	1,69	2,11	2,29	2,03
14	LVA	FNR	TF	25	50	1,12	1,94	1,75	1,60
15	LVA	FNR	TF	25	100	1,32	1,38	1,49	1,40
16	LVA	FNR	TF	50	0	2,18	1,99	1,83	2,00
17	LVA	FNR	TF	50	50	1,32	1,56	1,38	1,42
18	LVA	FNR	TF	50	100	1,93	1,45	1,54	1,64
19	LV	SFT	TF	0	0	1,60	1,49	2,16	1,75
20	LV	SFT	TF	0	50	1,52	1,81	1,69	1,68
21	LV	SFT	TF	0	100	1,50	1,46	1,69	1,55
22	LV	SFT	TF	25	0	1,37	1,52	1,71	1,54
23	LV	SFT	TF	25	50	1,50	1,69	1,51	1,57
24	LV	SFT	TF	25	100	1,69	1,69	1,80	1,73
25	LV	SFT	TF	50	0	1,44	1,50	1,57	1,50
26	LV	SFT	TF	50	50	1,58	1,64	1,75	1,66
27	LV	SFT	TF	50	100	1,40	2,10	1,63	1,71
28	LV	FN	TF	0	0	1,60	1,49	2,16	1,75
29	LV	FN	TF	0	50	1,40	1,31	1,64	1,45
30	LV	FN	TF	0	100	1,42	1,55	1,57	1,51
31	LV	FN	TF	25	0	1,37	1,52	1,71	1,54
32	LV	FN	TF	25	50	1,42	1,52	1,54	1,49
33	LV	FN	TF	25	100	1,46	1,76	1,86	1,69
34	LV	FN	TF	50	0	1,44	1,50	1,57	1,50
35	LV	FN	TF	50	50	1,44	1,52	1,14	1,37
36	LV	FN	TF	50	100	1,79	2,14	1,85	1,93

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 7 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado pela massa seca da parte aérea de plantas de milho no 2º cultivo

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	M.O.	Dose	Dose P	P acumulado (g vaso ⁻¹)			Média
				t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	TF	0	0	1,1	1,2	1,7	1,4
2	LVA	SFT	TF	0	50	24,7	32,0	16,8	24,5
3	LVA	SFT	TF	0	100	27,7	45,4	20,8	31,3
4	LVA	SFT	TF	25	0	0,8	1,6	2,3	1,5
5	LVA	SFT	TF	25	50	28,1	26,7	22,8	25,9
6	LVA	SFT	TF	25	100	34,2	44,7	31,9	36,9
7	LVA	SFT	TF	50	0	1,7	1,3	1,2	1,4
8	LVA	SFT	TF	50	50	31,1	34,3	42,2	35,9
9	LVA	SFT	TF	50	100	54,3	47,5	36,5	46,1
10	LVA	FNR	TF	0	0	1,1	1,2	1,7	1,4
11	LVA	FNR	TF	0	50	30,5	40,1	21,6	30,7
12	LVA	FNR	TF	0	100	107,6	83,0	92,8	94,5
13	LVA	FNR	TF	25	0	0,8	1,6	2,3	1,5
14	LVA	FNR	TF	25	50	25,2	61,7	33,8	40,2
15	LVA	FNR	TF	25	100	66,6	68,5	64,4	66,5
16	LVA	FNR	TF	50	0	1,7	1,3	1,2	1,4
17	LVA	FNR	TF	50	50	30,2	48,1	36,5	38,3
18	LVA	FNR	TF	50	100	83,2	85,8	70,1	79,7
19	LV	SFT	TF	0	0	1,7	1,2	2,2	1,7
20	LV	SFT	TF	0	50	18,2	20,4	18,1	18,9
21	LV	SFT	TF	0	100	30,6	39,2	27,1	32,3
22	LV	SFT	TF	25	0	2,7	1,6	1,5	1,9
23	LV	SFT	TF	25	50	22,6	23,9	20,0	22,2
24	LV	SFT	TF	25	100	49,5	32,1	32,7	38,1
25	LV	SFT	TF	50	0	3,2	3,5	2,2	3,0
26	LV	SFT	TF	50	50	29,6	31,5	25,2	28,8
27	LV	SFT	TF	50	100	37,5	45,3	35,3	39,3
28	LV	FNR	TF	0	0	1,7	1,2	2,2	1,7
29	LV	FNR	TF	0	50	35,0	35,0	36,2	35,4
30	LV	FNR	TF	0	100	50,9	41,2	49,1	47,1
31	LV	FNR	TF	25	0	2,7	1,6	1,5	1,9
32	LV	FNR	TF	25	50	43,4	38,1	34,3	38,6
33	LV	FNR	TF	25	100	56,7	78,0	74,7	69,8
34	LV	FNR	TF	50	0	3,2	3,5	2,2	3,0
35	LV	FNR	TF	50	50	38,3	43,7	35,2	39,1
36	LV	FNR	TF	50	100	73,9	85,7	74,3	78,0

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: latossolo vermelho; ²SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Arad; TF: turfa.

Tabela 8 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para a variável massa seca da parte aérea e P acumulado pelas plantas de milho nos solos LVA e LV em dois cultivos.

Fontes de Variação	G L	Valor F			
		LVA		LV	
		1º cultivo	2º cultivo	1º cultivo	2º cultivo
----- Massa seca da parte aérea -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	596,58*	98,05*	470,70*	164,42*
Dose de P (DP)	2	628,17*	280,80*	403,36*	545,77*
Dose de TF (DTF)	2	12,06*	7,63*	2,06 ^{ns}	10,59*
FP x DP	2	174,67*	51,72*	161,79*	42,87*
FP x DTF	2	9,90*	0,40 ^{ns}	2,26 ^{ns}	0,99 ^{ns}
DP x DTF	4	6,66*	1,97 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2,21 ^{ns}
FP x DP x DTF	4	4,04*	0,12 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,90 ^{ns}
C.V. (%)		15,6	22,9	18,6	15,3
----- P acumulado -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	63,21*	38,59*	31,24*	121,08*
Dose de P (DP)	2	426,93*	217,30*	241,77*	472,75*
Dose de MO (DMO)	2	24,30*	6,44*	3,12 ^{ns}	16,67*
FP x DP	2	20,85*	20,01*	11,51*	39,91*
FP x DMO	2	12,31*	0,22 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,18 ^{ns}
DP x DMO	4	8,80*	2,10 ^{ns}	0,74 ^{ns}	6,17*
FP x DP x DMO	4	3,32**	0,48 ^{ns}	0,09 ^{ns}	4,30*
C.V. (%)		18,4	23,4	22,3	17,1

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

APÊNDICE C

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento de avaliação da eficiência agrônômica de fontes de P em dois solos com adição de fontes de substâncias húmicas

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	FSH ³	Doses L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	Trat.	Solo	Fonte P	FSH	Doses L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹
1	LVA	SFT	CO	0	0	25	LV	SFT	CO	0	0
2	LVA	SFT	CO	0	75	26	LV	SFT	CO	0	75
3	LVA	SFT	CO	300	0	27	LV	SFT	CO	300	0
4	LVA	SFT	CO	300	75	28	LV	SFT	CO	300	75
5	LVA	SFT	CO	600	0	29	LV	SFT	CO	600	0
6	LVA	SFT	CO	600	75	30	LV	SFT	CO	600	75
7	LVA	SFT	TF	0	0	31	LV	SFT	TF	0	0
8	LVA	SFT	TF	0	75	32	LV	SFT	TF	0	75
9	LVA	SFT	TF	10	0	33	LV	SFT	TF	10	0
10	LVA	SFT	TF	10	75	34	LV	SFT	TF	10	75
11	LVA	SFT	TF	20	0	35	LV	SFT	TF	20	0
12	LVA	SFT	TF	20	75	36	LV	SFT	TF	20	75
13	LVA	FNR	CO	0	0	37	LV	FNR	CO	0	0
14	LVA	FNR	CO	0	75	38	LV	FNR	CO	0	75
15	LVA	FNR	CO	300	0	39	LV	FNR	CO	300	0
16	LVA	FNR	CO	300	75	40	LV	FNR	CO	300	75
17	LVA	FNR	CO	600	0	41	LV	FNR	CO	600	0
18	LVA	FNR	CO	600	75	42	LV	FNR	CO	600	75
19	LVA	FNR	TF	0	0	43	LV	FNR	TF	0	0
20	LVA	FNR	TF	0	75	44	LV	FNR	TF	0	75
21	LVA	FNR	TF	10	0	45	LV	FNR	TF	10	0
22	LVA	FNR	TF	10	75	46	LV	FNR	TF	10	75
23	LVA	FNR	TF	20	0	47	LV	FNR	TF	20	0
24	LVA	FNR	TF	20	75	48	LV	FNR	TF	20	75

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 2 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses		MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
2	LVA	SFT	CO	0	75	35,17	36,38	33,54	35,03
3	LVA	SFT	CO	300	0	1,41	1,34	1,41	1,39
4	LVA	SFT	CO	300	75	53,34	59,72	50,02	54,36
5	LVA	SFT	CO	600	0	1,15	1,23	1,18	1,19
6	LVA	SFT	CO	600	75	48,93	46,54	49,58	48,35
7	LVA	SFT	TF	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
8	LVA	SFT	TF	0	75	35,17	36,38	33,54	35,03
9	LVA	SFT	TF	10	0	1,12	1,20	1,22	1,18
10	LVA	SFT	TF	10	75	37,40	38,36	38,37	38,04
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,16	1,05	1,41	1,21
12	LVA	SFT	TF	20	75	49,01	48,67	49,97	49,22
13	LVA	FNR	CO	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
14	LVA	FNR	CO	0	75	8,15	7,13	6,49	7,26
15	LVA	FNR	CO	300	0	1,41	1,34	1,41	1,39
16	LVA	FNR	CO	300	75	19,48	18,80	23,38	20,55
17	LVA	FNR	CO	600	0	1,15	1,23	1,18	1,19
18	LVA	FNR	CO	600	75	15,80	16,53	13,35	15,23
19	LVA	FNR	TF	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
20	LVA	FNR	TF	0	75	8,15	7,13	6,49	7,26
21	LVA	FNR	TF	10	0	1,12	1,20	1,22	1,18
22	LVA	FNR	TF	10	75	13,49	11,73	14,71	13,31
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,16	1,05	1,41	1,21
24	LVA	FNR	TF	20	75	19,02	18,54	18,32	18,63
25	LV	SFT	CO	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
26	LV	SFT	CO	0	75	28,65	31,82	29,39	29,95
27	LV	SFT	CO	300	0	1,52	1,20	1,01	1,24
28	LV	SFT	CO	300	75	34,22	38,74	36,20	36,39
29	LV	SFT	CO	600	0	1,41	1,13	1,76	1,43
30	LV	SFT	CO	600	75	37,71	37,37	40,31	38,46
31	LV	SFT	TF	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
32	LV	SFT	TF	0	75	28,65	31,82	29,39	29,95
33	LV	SFT	TF	10	0	1,53	1,89	1,67	1,70
34	LV	SFT	TF	10	75	30,26	32,01	31,09	31,12
35	LV	SFT	TF	20	0	1,22	1,59	1,70	1,50
36	LV	SFT	TF	20	75	35,13	34,37	32,62	34,04
37	LV	FNR	CO	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
38	LV	FNR	CO	0	75	7,56	6,49	5,16	6,40
39	LV	FNR	CO	300	0	1,52	1,20	1,01	1,24
40	LV	FNR	CO	300	75	9,73	10,26	9,22	9,74

Tabela 2 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	FNR	CO	600	0	1,41	1,13	1,76	1,43
42	LV	FNR	CO	600	75	10,58	11,49	9,73	10,60
43	LV	FNR	TF	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
44	LV	FNR	TF	0	75	7,56	6,49	5,16	6,40
45	LV	FNR	TF	10	0	1,53	1,89	1,67	1,70
46	LV	FNR	TF	10	75	9,98	9,35	6,83	8,72
47	LV	FNR	TF	20	0	1,22	1,59	1,70	1,50
48	LV	FNR	TF	20	75	8,34	8,26	7,12	7,91

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 3 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas.

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
2	LVA	SFT	CO	0	75	1,20	1,26	1,50	1,32
3	LVA	SFT	CO	300	0	1,65	1,78	1,85	1,76
4	LVA	SFT	CO	300	75	1,58	1,52	1,48	1,53
5	LVA	SFT	CO	600	0	1,89	1,10	1,75	1,58
6	LVA	SFT	CO	600	75	1,34	1,52	1,64	1,50
7	LVA	SFT	TF	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
8	LVA	SFT	TF	0	75	1,20	1,26	1,50	1,32
9	LVA	SFT	TF	10	0	1,80	1,86	1,97	1,88
10	LVA	SFT	TF	10	75	1,52	1,54	1,33	1,46
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,25	1,60	1,89	1,58
12	LVA	SFT	TF	20	75	1,54	1,32	1,54	1,47
13	LVA	FNR	CO	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
14	LVA	FNR	CO	0	75	2,50	2,84	2,10	2,48
15	LVA	FNR	CO	300	0	1,65	1,78	1,85	1,76
16	LVA	FNR	CO	300	75	2,23	2,15	2,20	2,19
17	LVA	FNR	CO	600	0	1,89	1,10	1,75	1,58
18	LVA	FNR	CO	600	75	1,80	1,49	1,56	1,62
19	LVA	FNR	TF	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
20	LVA	FNR	TF	0	75	2,50	2,84	2,10	2,48
21	LVA	FNR	TF	10	0	1,80	1,86	1,97	1,88
22	LVA	FNR	TF	10	75	2,63	2,20	2,54	2,46
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,25	1,60	1,89	1,58

Tabela 3 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	Teor de P (g kg ⁻¹)		Média	
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B		
24	LVA	FNR	TF	20	75	2,86	2,41	2,59	2,62
25	LV	SFT	CO	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
26	LV	SFT	CO	0	75	1,25	1,12	1,26	1,21
27	LV	SFT	CO	300	0	1,21	0,89	1,89	1,33
28	LV	SFT	CO	300	75	1,10	1,11	1,14	1,12
29	LV	SFT	CO	600	0	1,23	1,16	1,58	1,32
30	LV	SFT	CO	600	75	1,20	1,00	1,02	1,07
31	LV	SFT	TF	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
32	LV	SFT	TF	0	75	1,25	1,12	1,26	1,21
33	LV	SFT	TF	10	0	2,30	2,20	2,19	2,23
34	LV	SFT	TF	10	75	1,25	1,21	1,09	1,18
35	LV	SFT	TF	20	0	1,23	1,35	1,23	1,27
36	LV	SFT	TF	20	75	1,10	1,12	1,05	1,09
37	LV	FNR	CO	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
38	LV	FNR	CO	0	75	2,96	2,36	2,48	2,60
39	LV	FNR	CO	300	0	1,21	0,89	1,89	1,33
40	LV	FNR	CO	300	75	2,58	2,47	2,52	2,52
41	LV	FNR	CO	600	0	1,23	1,16	1,58	1,32
42	LV	FNR	CO	600	75	2,65	2,82	2,03	2,50
43	LV	FNR	TF	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
44	LV	FNR	TF	0	75	2,96	2,36	2,48	2,60
45	LV	FNR	TF	10	0	2,30	2,20	2,19	2,23
46	LV	FNR	TF	10	75	1,85	1,98	1,68	1,84
47	LV	FNR	TF	20	0	1,23	1,35	1,23	1,27
48	LV	FNR	TF	20	75	1,85	1,96	2,02	1,94

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 4 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	P acumulado (mg vaso ¹)			Média
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
2	LVA	SFT	CO	0	75	42,20	45,84	50,31	46,12
3	LVA	SFT	CO	300	0	2,33	2,39	2,61	2,44
4	LVA	SFT	CO	300	75	84,28	90,77	74,03	83,03
5	LVA	SFT	CO	600	0	2,17	1,35	2,07	1,86
6	LVA	SFT	CO	600	75	65,57	70,74	81,31	72,54
7	LVA	SFT	TF	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
8	LVA	SFT	TF	0	75	42,20	45,84	50,31	46,12
9	LVA	SFT	TF	10	0	2,02	2,23	2,40	2,22
10	LVA	SFT	TF	10	75	56,85	59,07	51,03	55,65
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,45	1,68	2,66	1,93
12	LVA	SFT	TF	20	75	75,48	64,24	76,95	72,22
13	LVA	FNR	CO	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
14	LVA	FNR	CO	0	75	20,38	20,25	13,63	18,08
15	LVA	FNR	CO	300	0	2,33	2,39	2,61	2,44
16	LVA	FNR	CO	300	75	43,44	40,42	51,44	45,10
17	LVA	FNR	CO	600	0	2,17	1,35	2,07	1,86
18	LVA	FNR	CO	600	75	28,44	24,63	20,83	24,63
19	LVA	FNR	TF	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
20	LVA	FNR	TF	0	75	20,38	20,25	13,63	18,08
21	LVA	FNR	TF	10	0	2,02	2,23	2,40	2,22
22	LVA	FNR	TF	10	75	35,48	25,81	37,36	32,88
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,45	1,68	2,66	1,93
24	LVA	FNR	TF	20	75	54,40	44,68	47,45	48,84
25	LV	SFT	CO	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
26	LV	SFT	CO	0	75	35,81	35,64	37,03	36,16
27	LV	SFT	CO	300	0	1,84	1,07	1,91	1,61
28	LV	SFT	CO	300	75	37,64	43,00	41,27	40,64
29	LV	SFT	CO	600	0	1,73	1,31	2,78	1,94
30	LV	SFT	CO	600	75	45,25	37,37	41,12	41,25
31	LV	SFT	TF	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
32	LV	SFT	TF	0	75	35,81	35,64	37,03	36,16
33	LV	SFT	TF	10	0	3,52	4,16	3,66	3,78
34	LV	SFT	TF	10	75	37,83	38,73	33,89	36,82
35	LV	SFT	TF	20	0	1,50	2,15	2,09	1,91
36	LV	SFT	TF	20	75	38,64	38,49	34,25	37,13
37	LV	FNR	CO	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
38	LV	FNR	CO	0	75	22,38	15,32	12,80	16,83
39	LV	FNR	CO	300	0	1,84	1,07	1,91	1,61
40	LV	FNR	CO	300	75	25,10	25,34	23,23	24,56

Tabela 4 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B		
41	LV	FNR	CO	600	0	1,73	1,31	2,78	1,94
42	LV	FNR	CO	600	75	28,04	32,40	19,75	26,73
43	LV	FNR	TF	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
44	LV	FNR	TF	0	75	22,38	15,32	12,80	16,83
45	LV	FNR	TF	10	0	3,52	4,16	3,66	3,78
46	LV	FNR	TF	10	75	18,46	18,51	11,47	16,15
47	LV	FNR	TF	20	0	1,50	2,15	2,09	1,91
48	LV	FNR	TF	20	75	15,43	16,19	14,38	15,33

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 5 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
2	LVA	SFT	CO	0	75	16,25	18,70	17,37	17,44
3	LVA	SFT	CO	300	0	0,76	0,92	1,47	1,05
4	LVA	SFT	CO	300	75	21,54	23,38	20,74	21,89
5	LVA	SFT	CO	600	0	0,90	1,30	0,70	0,97
6	LVA	SFT	CO	600	75	24,34	22,88	23,76	23,66
7	LVA	SFT	TF	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
8	LVA	SFT	TF	0	75	16,25	18,70	17,37	17,44
9	LVA	SFT	TF	10	0	0,97	0,69	1,03	0,90
10	LVA	SFT	TF	10	75	19,79	20,24	21,03	20,35
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,51	1,15	0,96	1,21
12	LVA	SFT	TF	20	75	22,70	20,20	23,56	22,15
13	LVA	FNR	CO	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
14	LVA	FNR	CO	0	75	27,53	25,96	26,73	26,74
15	LVA	FNR	CO	300	0	0,76	0,92	1,47	1,05
16	LVA	FNR	CO	300	75	34,07	31,65	35,33	33,68
17	LVA	FNR	CO	600	0	0,90	1,30	0,70	0,97
18	LVA	FNR	CO	600	75	32,29	34,74	36,57	34,53
19	LVA	FNR	TF	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
20	LVA	FNR	TF	0	75	27,53	25,96	26,73	26,74
21	LVA	FNR	TF	10	0	0,97	0,69	1,03	0,90
22	LVA	FNR	TF	10	75	29,73	31,55	27,67	29,65
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,51	1,15	0,96	1,21

Tabela 5 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
24	LVA	FNR	TF	20	75	30,99	32,49	33,43	32,30
25	LV	SFT	CO	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
26	LV	SFT	CO	0	75	19,65	20,49	22,13	20,76
27	LV	SFT	CO	300	0	0,94	1,29	1,35	1,19
28	LV	SFT	CO	300	75	25,48	22,43	25,73	24,55
29	LV	SFT	CO	600	0	1,50	1,08	1,77	1,45
30	LV	SFT	CO	600	75	24,50	22,21	26,13	24,28
31	LV	SFT	TF	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
32	LV	SFT	TF	0	75	19,65	20,49	22,13	20,76
33	LV	SFT	TF	10	0	1,33	0,72	1,28	1,11
34	LV	SFT	TF	10	75	23,67	21,20	29,12	24,66
35	LV	SFT	TF	20	0	1,43	1,34	1,40	1,39
36	LV	SFT	TF	20	75	28,34	29,82	20,16	26,11
37	LV	FNR	CO	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
38	LV	FNR	CO	0	75	30,69	28,77	26,16	28,54
39	LV	FNR	CO	300	0	0,94	1,29	1,35	1,19
40	LV	FNR	CO	300	75	29,66	30,13	32,81	30,87
41	LV	FNR	CO	600	0	1,50	1,08	1,77	1,45
42	LV	FNR	CO	600	75	31,21	35,18	34,48	33,62
43	LV	FNR	TF	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
44	LV	FNR	TF	0	75	30,69	28,77	26,16	28,54
45	LV	FNR	TF	10	0	1,33	0,72	1,28	1,11
46	LV	FNR	TF	10	75	30,57	32,61	33,82	32,33
47	LV	FNR	TF	20	0	1,43	1,34	1,40	1,39
48	LV	FNR	TF	20	75	34,84	35,92	36,42	35,73

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 6 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses	Dose P	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
2	LVA	SFT	CO	0	75	1,56	1,48	1,54	1,53
3	LVA	SFT	CO	300	0	1,80	1,74	1,69	1,74
4	LVA	SFT	CO	300	75	1,68	1,68	2,04	1,80
5	LVA	SFT	CO	600	0	2,10	1,87	2,17	2,05
6	LVA	SFT	CO	600	75	1,84	1,87	2,04	1,92
7	LVA	SFT	TF	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
8	LVA	SFT	TF	0	75	1,56	1,48	1,54	1,53
9	LVA	SFT	TF	10	0	1,23	1,28	1,15	1,22
10	LVA	SFT	TF	10	75	1,54	1,94	1,47	1,65
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,24	1,27	1,57	1,36
12	LVA	SFT	TF	20	75	1,64	1,89	1,48	1,67
13	LVA	FNR	CO	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
14	LVA	FNR	CO	0	75	1,89	1,84	1,58	1,77
15	LVA	FNR	CO	300	0	1,80	1,74	1,69	1,74
16	LVA	FNR	CO	300	75	2,01	2,07	1,89	1,99
17	LVA	FNR	CO	600	0	2,10	1,87	2,17	2,05
18	LVA	FNR	CO	600	75	2,21	2,19	2,05	2,15
19	LVA	FNR	TF	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
20	LVA	FNR	TF	0	75	1,89	1,84	1,58	1,77
21	LVA	FNR	TF	10	0	1,23	1,28	1,15	1,22
22	LVA	FNR	TF	10	75	2,10	2,08	2,07	2,08
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,24	1,27	1,57	1,36
24	LVA	FNR	TF	20	75	2,18	2,10	2,16	2,15
25	LV	SFT	CO	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
26	LV	SFT	CO	0	75	1,85	1,87	1,67	1,80
27	LV	SFT	CO	300	0	1,21	1,54	1,68	1,48
28	LV	SFT	CO	300	75	1,54	1,65	1,12	1,44
29	LV	SFT	CO	600	0	1,12	1,08	1,07	1,09
30	LV	SFT	CO	600	75	1,74	1,87	1,47	1,69
31	LV	SFT	TF	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
32	LV	SFT	TF	0	75	1,85	1,87	1,67	1,80
33	LV	SFT	TF	10	0	1,19	1,28	1,26	1,24
34	LV	SFT	TF	10	75	1,14	1,19	1,15	1,16
35	LV	SFT	TF	20	0	1,46	1,47	1,47	1,47
36	LV	SFT	TF	20	75	1,25	1,58	2,14	1,66
37	LV	FNR	CO	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
38	LV	FNR	CO	0	75	1,12	1,14	1,57	1,28
39	LV	FNR	CO	300	0	1,21	1,54	1,68	1,48
40	LV	FNR	CO	300	75	1,85	1,87	1,47	1,73

Tabela 6 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses		MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	A	B		
41	LV	FNR	CO	600	0	1,12	1,08	1,07	1,09
42	LV	FNR	CO	600	75	2,21	2,15	1,49	1,95
43	LV	FNR	TF	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
44	LV	FNR	TF	0	75	1,12	1,14	1,57	1,28
45	LV	FNR	TF	10	0	1,19	1,28	1,26	1,24
46	LV	FNR	TF	10	75	1,98	2,04	1,96	1,99
47	LV	FNR	TF	20	0	1,46	1,47	1,47	1,47
48	LV	FNR	TF	20	75	1,84	1,84	1,47	1,72

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 7 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses		P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
				L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	A	B	C	
1	LVA	SFT	CO	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
2	LVA	SFT	CO	0	75	25,35	27,68	26,75	26,59
3	LVA	SFT	CO	300	0	1,37	1,60	2,48	1,82
4	LVA	SFT	CO	300	75	36,19	39,28	42,31	39,26
5	LVA	SFT	CO	600	0	1,89	2,43	1,52	1,95
6	LVA	SFT	CO	600	75	44,79	42,79	48,47	45,35
7	LVA	SFT	TF	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
8	LVA	SFT	TF	0	75	25,35	27,68	26,75	26,59
9	LVA	SFT	TF	10	0	1,19	0,88	1,18	1,09
10	LVA	SFT	TF	10	75	30,48	39,27	30,91	33,55
11	LVA	SFT	TF	20	0	1,87	1,46	1,51	1,61
12	LVA	SFT	TF	20	75	37,23	38,18	34,87	36,76
13	LVA	FNR	CO	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
14	LVA	FNR	CO	0	75	52,03	47,77	42,23	47,34
15	LVA	FNR	CO	300	0	1,37	1,60	2,48	1,82
16	LVA	FNR	CO	300	75	68,48	65,52	66,77	66,92
17	LVA	FNR	CO	600	0	1,89	2,43	1,52	1,95
18	LVA	FNR	CO	600	75	71,36	76,08	74,97	74,14
19	LVA	FNR	TF	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
20	LVA	FNR	TF	0	75	52,03	47,77	42,23	47,34
21	LVA	FNR	TF	10	0	1,19	0,88	1,18	1,09
22	LVA	FNR	TF	10	75	62,43	65,62	57,28	61,78
23	LVA	FNR	TF	20	0	1,87	1,46	1,51	1,61

Tabela 7 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com adição de fontes de substâncias húmicas

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	FSH ³	Doses L ha ⁻¹	Dose P mg kg ⁻¹	P acumulado (mg vaso ¹)		Média	
						A	B		
24	LVA	FNR	TF	20	75	67,56	68,23	72,21	69,33
25	LV	SFT	CO	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
26	LV	SFT	CO	0	75	36,35	38,32	36,96	37,21
27	LV	SFT	CO	300	0	1,14	1,99	2,27	1,80
28	LV	SFT	CO	300	75	39,24	37,01	28,82	35,02
29	LV	SFT	CO	600	0	1,68	1,17	1,89	1,58
30	LV	SFT	CO	600	75	42,63	41,53	38,41	40,86
31	LV	SFT	TF	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
32	LV	SFT	TF	0	75	36,35	38,32	36,96	37,21
33	LV	SFT	TF	10	0	1,58	0,92	1,61	1,37
34	LV	SFT	TF	10	75	26,98	25,23	33,49	28,57
35	LV	SFT	TF	20	0	2,09	1,97	2,06	2,04
36	LV	SFT	TF	20	75	35,43	47,12	43,14	41,89
37	LV	FNR	CO	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
38	LV	FNR	CO	0	75	34,37	32,80	41,07	36,08
39	LV	FNR	CO	300	0	1,14	1,99	2,27	1,80
40	LV	FNR	CO	300	75	54,87	56,34	48,23	53,15
41	LV	FNR	CO	600	0	1,68	1,17	1,89	1,58
42	LV	FNR	CO	600	75	68,97	75,64	51,38	65,33
43	LV	FNR	TF	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
44	LV	FNR	TF	0	75	34,37	32,80	41,07	36,08
45	LV	FNR	TF	10	0	1,58	0,92	1,61	1,37
46	LV	FNR	TF	10	75	60,53	66,52	66,29	64,45
47	LV	FNR	TF	20	0	2,09	1,97	2,06	2,04
48	LV	FNR	TF	20	75	64,11	66,09	53,54	61,25

¹LVA: Latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³FSH: fonte de substâncias húmicas; CO: condicionador orgânico, TF: turfa.

Tabela 8 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho e P acumulado para os solos LVA e LV em dois cultivos em função da dose de condicionador orgânico e de turfa

Fontes de Variação	G L	Valor F			
		LVA		LV	
		1º cultivo	2º cultivo	1º cultivo	2º cultivo
----- Massa seca da parte aérea -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	2025,47**	453,76**	3601,38**	87,83**
Fonte de SH (FSH)	1	23,84**	10,65**	28,68**	1,13 ^{ns}
Dose de CO e TF ⁽¹⁾ .(D)	2	126,84**	57,62**	42,79**	12,90**
FP x FSH	1	8,63**	1,27 ^{ns}	5,71*	0,09 ^{ns}
FP x D	2	3,28 ^{ns}	0,74 ^{ns}	6,05**	0,72 ^{ns}
FSH x D	2	43,17**	2,97 ^{ns}	7,25**	0,43 ^{ns}
FP x FSH x D	2	4,21*	0,61 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}
C.V. (%)		6,9	5,5	6,0	9,3
----- P acumulado -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	264,87**	578,06**	333,47**	86,85**
Fonte de SH (FSH)	1	1,84 ^{ns}	13,48**	20,57**	0,08 ^{ns}
Dose de CO e TF ⁽¹⁾ .(D)	2	59,40**	108,89**	4,83*	26,51**
FP x FSH	1	11,79**	0,43 ^{ns}	3,76 ^{ns}	1,76 ^{ns}
FP x D	2	1,36 ^{ns}	7,24**	0,12 ^{ns}	23,98**
FSH x D	2	23,10**	3,48*	5,35*	0,43 ^{ns}
FP x FSH x D	2	3,44*	0,28 ^{ns}	1,08 ^{ns}	3,89*
C.V. (%)		12,3	6,8	10,6	11,5

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

APÊNDICE D

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento de avaliação da eficiência agrônômica de fontes de P em dois solos com forma de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte ² P	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	Trat.	Solo	Fonte P	Forma de aplicação	Doses	Dose P mg kg ⁻¹
1	LVA	SFT	AC1	0	0	29	LV	SFT	AC1	0	0
2	LVA	SFT	AC1	0	75	30	LV	SFT	AC1	0	75
3	LVA	SFT	AC1	4	0	31	LV	SFT	AC1	4	0
4	LVA	SFT	AC1	4	75	32	LV	SFT	AC1	4	75
5	LVA	SFT	AC1	8	0	33	LV	SFT	AC1	8	0
6	LVA	SFT	AC1	8	75	34	LV	SFT	AC1	8	75
7	LVA	FNR	AC1	0	0	35	LV	FNR	AC1	0	0
8	LVA	FNR	AC1	0	75	36	LV	FNR	AC1	0	75
9	LVA	FNR	AC1	4	0	37	LV	FNR	AC1	4	0
10	LVA	FNR	AC1	4	75	38	LV	FNR	AC1	4	75
11	LVA	FNR	AC1	8	0	39	LV	FNR	AC1	8	0
12	LVA	FNR	AC1	8	75	40	LV	FNR	AC1	8	75
13	LVA	SFT	AC2	4	0	41	LV	SFT	AC2	4	0
14	LVA	SFT	AC2	4	75	42	LV	SFT	AC2	4	75
15	LVA	SFT	AC2	8	0	43	LV	SFT	AC2	8	0
16	LVA	SFT	AC2	8	75	44	LV	SFT	AC2	8	75
17	LVA	FNR	AC2	4	0	45	LV	FNR	AC2	4	0
18	LVA	FNR	AC2	4	75	46	LV	FNR	AC2	4	75
19	LVA	FNR	AC2	8	0	47	LV	FNR	AC2	8	0
20	LVA	FNR	AC2	8	75	48	LV	FNR	AC2	8	75
21	LVA	SFT	AC3	4	0	49	LV	SFT	AC3	4	0
22	LVA	SFT	AC3	4	75	50	LV	SFT	AC3	4	75
23	LVA	SFT	AC3	8	0	51	LV	SFT	AC3	8	0
24	LVA	SFT	AC3	8	75	52	LV	SFT	AC3	8	75
25	LVA	FNR	AC3	4	0	53	LV	FNR	AC3	4	0
26	LVA	FNR	AC3	4	75	54	LV	FNR	AC3	4	75
27	LVA	FNR	AC3	8	0	55	LV	FNR	AC3	8	0
28	LVA	FNR	AC3	8	75	56	LV	FNR	AC3	8	75

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 2 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
2	LVA	SFT	AC1	0	75	35,17	36,38	33,54	35,03
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,05	1,61	1,49	1,38
4	LVA	SFT	AC1	4	75	45,64	41,51	47,72	44,96
5	LVA	SFT	AC1	8	0	1,50	1,84	1,38	1,57
6	LVA	SFT	AC1	8	75	48,92	53,40	45,65	49,32
7	LVA	FNR	AC1	0	0	1,17	1,34	0,91	1,14
8	LVA	FNR	AC1	0	75	8,15	7,13	6,49	7,26
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,05	1,61	1,49	1,38
10	LVA	FNR	AC1	4	75	13,33	16,68	19,29	16,43
11	LVA	FNR	AC1	8	0	1,50	1,84	1,38	1,57
12	LVA	FNR	AC1	8	75	21,10	20,12	18,19	19,80
13	LVA	SFT	AC2	4	0	1,67	1,20	1,34	1,40
14	LVA	SFT	AC2	4	75	65,38	62,30	63,67	63,78
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,34	1,32	1,56	1,41
16	LVA	SFT	AC2	8	75	70,45	68,56	67,73	68,91
17	LVA	FNR	AC2	4	0	1,67	1,20	1,34	1,40
18	LVA	FNR	AC2	4	75	28,36	25,81	25,34	26,50
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,34	1,32	1,56	1,41
20	LVA	FNR	AC2	8	75	27,66	26,49	29,87	28,01
21	LVA	SFT	AC3	4	0	1,23	1,48	1,67	1,46
22	LVA	SFT	AC3	4	75	37,87	40,56	34,97	37,80
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,24	1,45	1,27	1,32
24	LVA	SFT	AC3	8	75	36,14	29,06	39,68	34,96
25	LVA	FNR	AC3	4	0	1,23	1,48	1,67	1,46
26	LVA	FNR	AC3	4	75	10,25	12,18	14,74	12,39
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,24	1,45	1,27	1,32
28	LVA	FNR	AC3	8	75	16,34	15,47	17,71	16,51
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
30	LV	SFT	AC1	0	75	28,65	31,82	29,39	29,95
31	LV	SFT	AC1	4	0	1,18	1,35	1,36	1,30
32	LV	SFT	AC1	4	75	36,19	33,03	30,34	33,19
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,07	1,13	1,21	1,14
34	LV	SFT	AC1	8	75	35,06	33,86	38,47	35,80
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,22	1,37	1,14	1,24
36	LV	FNR	AC1	0	75	7,56	6,49	5,16	6,40
37	LV	FNR	AC1	4	0	1,18	1,35	1,36	1,30
38	LV	FNR	AC1	4	75	9,97	9,40	8,37	9,25
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,07	1,13	1,21	1,14
40	LV	FNR	AC1	8	75	8,18	9,04	9,89	9,04

Tabela 2 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,45	1,56	1,57	1,53
42	LV	SFT	AC2	4	75	32,15	34,16	36,12	34,14
43	LV	SFT	AC2	8	0	1,40	1,12	1,12	1,21
44	LV	SFT	AC2	8	75	36,42	39,78	38,56	38,25
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,45	1,56	1,57	1,53
46	LV	FNR	AC2	4	75	18,90	16,81	20,83	18,85
47	LV	FNR	AC2	8	0	1,40	1,12	1,12	1,21
48	LV	FNR	AC2	8	75	19,43	23,12	16,18	19,58
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,46	1,38	1,42	1,42
50	LV	SFT	AC3	4	75	31,77	27,99	28,64	29,47
51	LV	SFT	AC3	8	0	1,12	1,60	1,34	1,35
52	LV	SFT	AC3	8	75	33,20	31,91	32,22	32,44
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,46	1,38	1,42	1,42
54	LV	FNR	AC3	4	75	9,26	10,13	8,99	9,46
55	LV	FNR	AC3	8	0	1,12	1,60	1,34	1,35
56	LV	FNR	AC3	8	75	10,47	8,90	13,53	10,97

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 3 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ²	Doses ³	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
2	LVA	SFT	AC1	0	75	1,20	1,26	1,50	1,32
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,45	1,50	1,24	1,40
4	LVA	SFT	AC1	4	75	1,26	1,32	1,18	1,25
5	LVA	SFT	AC1	8	0	1,16	1,28	1,32	1,25
6	LVA	SFT	AC1	8	75	1,11	1,20	1,52	1,28
7	LVA	FNR	AC1	0	0	1,15	1,18	1,25	1,19
8	LVA	FNR	AC1	0	75	2,50	2,84	2,10	2,48
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,45	1,50	1,24	1,40
10	LVA	FNR	AC1	4	75	2,65	2,35	2,33	2,44
11	LVA	FNR	AC1	8	0	1,16	1,28	1,32	1,25
12	LVA	FNR	AC1	8	75	2,84	2,20	2,74	2,59
13	LVA	SFT	AC2	4	0	1,24	1,60	1,32	1,39
14	LVA	SFT	AC2	4	75	1,10	1,20	0,98	1,09
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,06	1,34	1,26	1,22
16	LVA	SFT	AC2	8	75	1,13	1,12	1,12	1,12
17	LVA	FNR	AC2	4	0	1,24	1,60	1,32	1,39
18	LVA	FNR	AC2	4	75	1,89	1,47	1,78	1,71
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,06	1,34	1,26	1,22
20	LVA	FNR	AC2	8	75	1,96	2,30	2,20	2,15
21	LVA	SFT	AC3	4	0	1,50	1,12	1,33	1,32
22	LVA	SFT	AC3	4	75	1,20	1,05	1,45	1,23
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,40	1,12	1,22	1,25
24	LVA	SFT	AC3	8	75	1,22	1,36	1,28	1,29
25	LVA	FNR	AC3	4	0	1,50	1,12	1,33	1,32
26	LVA	FNR	AC3	4	75	2,60	2,31	2,40	2,44
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,40	1,12	1,22	1,25
28	LVA	FNR	AC3	8	75	1,95	2,33	2,50	2,26
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
30	LV	SFT	AC1	0	75	1,25	1,12	1,26	1,21
31	LV	SFT	AC1	4	0	1,89	1,56	1,84	1,76
32	LV	SFT	AC1	4	75	1,12	1,16	1,10	1,13
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,32	1,48	1,37	1,39
34	LV	SFT	AC1	8	75	1,11	1,01	1,09	1,07
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,50	1,54	1,58	1,54
36	LV	FNR	AC1	0	75	2,96	2,36	2,48	2,60
37	LV	FNR	AC1	4	0	1,89	1,56	1,84	1,76
38	LV	FNR	AC1	4	75	2,35	2,14	2,11	2,20
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,32	1,48	1,37	1,39
40	LV	FNR	AC1	8	75	2,42	2,33	2,23	2,33

Tabela 3 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(conclusão)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ²	Doses ³	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B		
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,06	1,03	1,09	1,06
42	LV	SFT	AC2	4	75	1,89	1,52	1,64	1,68
43	LV	SFT	AC2	8	0	1,89	2,12	2,18	2,06
44	LV	SFT	AC2	8	75	1,56	1,64	1,57	1,59
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,06	1,03	1,09	1,06
46	LV	FNR	AC2	4	75	1,95	2,29	1,89	2,04
47	LV	FNR	AC2	8	0	1,89	2,12	2,18	2,06
48	LV	FNR	AC2	8	75	2,59	2,13	2,52	2,41
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,12	1,57	1,17	1,29
50	LV	SFT	AC3	4	75	1,32	1,29	1,47	1,36
51	LV	SFT	AC3	8	0	1,25	1,79	1,25	1,43
52	LV	SFT	AC3	8	75	1,35	1,24	1,34	1,31
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,12	1,57	1,17	1,29
54	LV	FNR	AC3	4	75	2,52	2,57	2,79	2,63
55	LV	FNR	AC3	8	0	1,25	1,79	1,25	1,43
56	LV	FNR	AC3	8	75	2,65	2,56	2,47	2,56

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 4 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
2	LVA	SFT	AC1	0	75	42,20	45,84	50,31	46,12
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,52	2,42	1,85	1,93
4	LVA	SFT	AC1	4	75	57,51	54,79	56,31	56,20
5	LVA	SFT	AC1	8	0	1,74	2,36	1,82	1,97
6	LVA	SFT	AC1	8	75	54,30	64,08	69,39	62,59
7	LVA	FNR	AC1	0	0	1,35	1,58	1,14	1,35
8	LVA	FNR	AC1	0	75	20,38	20,25	13,63	18,08
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,52	2,42	1,85	1,93
10	LVA	FNR	AC1	4	75	35,32	39,20	44,95	39,82
11	LVA	FNR	AC1	8	0	1,74	2,36	1,82	1,97
12	LVA	FNR	AC1	8	75	59,92	44,26	49,84	51,34
13	LVA	SFT	AC2	4	0	2,07	1,92	1,77	1,92
14	LVA	SFT	AC2	4	75	71,92	74,76	62,40	69,69
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,42	1,77	1,97	1,72
16	LVA	SFT	AC2	8	75	79,61	76,79	75,86	77,42
17	LVA	FNR	AC2	4	0	2,07	1,92	1,77	1,92
18	LVA	FNR	AC2	4	75	53,60	37,94	45,11	45,55
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,42	1,77	1,97	1,72
20	LVA	FNR	AC2	8	75	54,21	60,93	65,71	60,28
21	LVA	SFT	AC3	4	0	1,85	1,66	2,22	1,91
22	LVA	SFT	AC3	4	75	45,44	42,59	50,71	46,25
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,74	1,62	1,55	1,64
24	LVA	SFT	AC3	8	75	44,09	39,52	50,79	44,80
25	LVA	FNR	AC3	4	0	1,85	1,66	2,22	1,91
26	LVA	FNR	AC3	4	75	26,65	28,14	35,38	30,05
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,74	1,62	1,55	1,64
28	LVA	FNR	AC3	8	75	31,86	36,05	44,28	37,39
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
30	LV	SFT	AC1	0	75	35,81	35,64	37,03	36,16
31	LV	SFT	AC1	4	0	2,23	2,11	2,50	2,28
32	LV	SFT	AC1	4	75	36,05	38,31	33,37	35,91
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,41	1,67	1,66	1,58
34	LV	SFT	AC1	8	75	38,92	34,20	41,93	38,35
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,83	2,11	1,80	1,91
36	LV	FNR	AC1	0	75	22,38	15,32	12,80	16,83
37	LV	FNR	AC1	4	0	2,23	2,11	2,50	2,28
38	LV	FNR	AC1	4	75	23,43	20,12	17,66	20,40
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,41	1,67	1,66	1,58
40	LV	FNR	AC1	8	75	19,80	21,06	22,05	20,97

Tabela 4 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 1º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,54	1,61	1,71	1,62
42	LV	SFT	AC2	4	75	60,76	51,92	59,24	57,31
43	LV	SFT	AC2	8	0	2,65	2,37	2,44	2,49
44	LV	SFT	AC2	8	75	56,82	65,24	60,54	60,86
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,54	1,61	1,71	1,62
46	LV	FNR	AC2	4	75	36,86	38,49	39,37	38,24
47	LV	FNR	AC2	8	0	2,65	2,37	2,44	2,49
48	LV	FNR	AC2	8	75	45,14	49,25	40,77	45,05
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,64	2,17	1,66	1,82
50	LV	SFT	AC3	4	75	41,94	36,11	42,10	40,05
51	LV	SFT	AC3	8	0	1,40	2,86	1,68	1,98
52	LV	SFT	AC3	8	75	44,82	39,57	43,17	42,52
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,64	2,17	1,66	1,82
54	LV	FNR	AC3	4	75	23,34	26,03	25,08	24,82
55	LV	FNR	AC3	8	0	1,40	2,86	1,68	1,98
56	LV	FNR	AC3	8	75	27,75	22,78	33,42	27,98

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 5 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
2	LVA	SFT	AC1	0	75	16,25	18,70	17,37	17,44
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,03	0,79	0,99	0,94
4	LVA	SFT	AC1	4	75	18,75	15,59	16,26	16,87
5	LVA	SFT	AC1	8	0	0,64	0,83	0,82	0,76
6	LVA	SFT	AC1	8	75	18,68	17,94	19,80	18,81
7	LVA	FNR	AC1	0	0	1,87	1,98	1,90	1,92
8	LVA	FNR	AC1	0	75	27,53	25,96	26,73	26,74
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,03	0,79	0,99	0,94
10	LVA	FNR	AC1	4	75	26,72	27,47	26,65	26,95
11	LVA	FNR	AC1	8	0	0,64	0,83	0,82	0,76
12	LVA	FNR	AC1	8	75	25,38	24,71	26,35	25,48
13	LVA	SFT	AC2	4	0	1,23	1,10	1,08	1,14
14	LVA	SFT	AC2	4	75	18,91	19,51	21,40	19,94
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,23	1,34	1,56	1,38
16	LVA	SFT	AC2	8	75	20,24	17,83	18,55	18,87
17	LVA	FNR	AC2	4	0	1,23	1,10	1,08	1,14
18	LVA	FNR	AC2	4	75	35,59	31,74	33,71	33,68
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,23	1,34	1,56	1,38
20	LVA	FNR	AC2	8	75	37,88	34,41	33,64	35,31
21	LVA	SFT	AC3	4	0	1,78	1,61	1,25	1,55
22	LVA	SFT	AC3	4	75	22,90	18,85	22,78	21,51
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,49	0,73	1,87	1,36
24	LVA	SFT	AC3	8	75	16,70	17,19	25,89	19,93
25	LVA	FNR	AC3	4	0	1,78	1,61	1,25	1,55
26	LVA	FNR	AC3	4	75	32,81	29,44	31,08	31,11
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,49	0,73	1,87	1,36
28	LVA	FNR	AC3	8	75	29,79	30,61	30,65	30,35
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
30	LV	SFT	AC1	0	75	19,65	20,49	22,13	20,76
31	LV	SFT	AC1	4	0	0,84	0,83	1,48	1,05
32	LV	SFT	AC1	4	75	17,73	20,68	19,60	19,34
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,20	1,13	1,17	1,17
34	LV	SFT	AC1	8	75	16,33	18,23	17,27	17,28
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,31	1,28	1,25	1,28
36	LV	FNR	AC1	0	75	30,69	28,77	26,16	28,54
37	LV	FNR	AC1	4	0	0,84	0,83	1,48	1,05
38	LV	FNR	AC1	4	75	28,29	27,02	28,61	27,97
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,20	1,13	1,17	1,17
40	LV	FNR	AC1	8	75	30,21	28,75	28,02	28,99

Tabela 5 – Dados originais para variável produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,20	1,56	1,54	1,43
42	LV	SFT	AC2	4	75	17,47	19,63	22,78	19,96
43	LV	SFT	AC2	8	0	1,20	1,32	1,24	1,25
44	LV	SFT	AC2	8	75	18,44	24,61	19,91	20,99
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,20	1,56	1,54	1,43
46	LV	FNR	AC2	4	75	33,70	32,06	34,31	33,36
47	LV	FNR	AC2	8	0	1,20	1,32	1,24	1,25
48	LV	FNR	AC2	8	75	30,48	34,47	32,31	32,42
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,35	1,92	1,69	1,65
50	LV	SFT	AC3	4	75	16,09	19,89	18,50	18,16
51	LV	SFT	AC3	8	0	1,70	1,53	1,95	1,73
52	LV	SFT	AC3	8	75	18,72	26,31	19,25	21,43
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,35	1,92	1,69	1,65
54	LV	FNR	AC3	4	75	35,30	32,36	36,25	34,64
55	LV	FNR	AC3	8	0	1,70	1,53	1,95	1,73
56	LV	FNR	AC3	8	75	29,31	32,33	34,81	32,15

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 6 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
2	LVA	SFT	AC1	0	75	1,56	1,48	1,54	1,53
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,10	1,45	1,06	1,20
4	LVA	SFT	AC1	4	75	1,54	1,89	2,04	1,82
5	LVA	SFT	AC1	8	0	1,90	1,65	1,50	1,68
6	LVA	SFT	AC1	8	75	1,74	1,84	1,84	1,81
7	LVA	FNR	AC1	0	0	0,80	1,01	0,89	0,90
8	LVA	FNR	AC1	0	75	1,89	1,84	1,58	1,77
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,10	1,45	1,06	1,20
10	LVA	FNR	AC1	4	75	2,10	1,96	1,87	1,98
11	LVA	FNR	AC1	8	0	1,90	1,65	1,50	1,68
12	LVA	FNR	AC1	8	75	2,51	2,69	2,78	2,66
13	LVA	SFT	AC2	4	0	1,10	1,04	1,18	1,11
14	LVA	SFT	AC2	4	75	2,11	2,16	1,87	2,05
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,50	1,58	1,54	1,54
16	LVA	SFT	AC2	8	75	2,21	2,32	2,29	2,27
17	LVA	FNR	AC2	4	0	1,10	1,04	1,18	1,11
18	LVA	FNR	AC2	4	75	1,48	1,49	1,84	1,60
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,50	1,58	1,54	1,54
20	LVA	FNR	AC2	8	75	1,47	1,54	1,76	1,59
21	LVA	SFT	AC3	4	0	1,14	1,10	1,47	1,24
22	LVA	SFT	AC3	4	75	1,54	1,67	1,58	1,60
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,25	2,01	1,18	1,48
24	LVA	SFT	AC3	8	75	2,14	2,40	1,40	1,98
25	LVA	FNR	AC3	4	0	1,14	1,10	1,47	1,24
26	LVA	FNR	AC3	4	75	1,84	2,15	1,89	1,96
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,25	2,01	1,18	1,48
28	LVA	FNR	AC3	8	75	1,74	2,01	2,12	1,96
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
30	LV	SFT	AC1	0	75	1,85	1,87	1,67	1,80
31	LV	SFT	AC1	4	0	2,21	2,19	1,84	2,08
32	LV	SFT	AC1	4	75	1,65	1,89	2,21	1,92
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,52	1,57	1,57	1,55
34	LV	SFT	AC1	8	75	1,85	1,89	1,84	1,86
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,10	1,01	1,24	1,12
36	LV	FNR	AC1	0	75	1,12	1,14	1,57	1,28
37	LV	FNR	AC1	4	0	2,21	2,19	1,84	2,08
38	LV	FNR	AC1	4	75	1,44	1,95	1,49	1,63
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,52	1,57	1,57	1,55
40	LV	FNR	AC1	8	75	1,87	1,57	1,57	1,67

Tabela 6 – Dados originais para variável teor de P na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,40	1,47	1,33	1,40
42	LV	SFT	AC2	4	75	2,10	2,18	2,08	2,12
43	LV	SFT	AC2	8	0	1,24	1,47	1,19	1,30
44	LV	SFT	AC2	8	75	2,18	1,84	1,74	1,92
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,40	1,47	1,33	1,40
46	LV	FNR	AC2	4	75	2,14	2,14	2,19	2,16
47	LV	FNR	AC2	8	0	1,24	1,47	1,19	1,30
48	LV	FNR	AC2	8	75	2,18	1,87	2,14	2,06
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,25	2,40	1,16	1,60
50	LV	SFT	AC3	4	75	2,16	2,47	2,58	2,40
51	LV	SFT	AC3	8	0	1,19	1,19	1,74	1,37
52	LV	SFT	AC3	8	75	2,28	2,01	2,17	2,15
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,25	2,40	1,16	1,60
54	LV	FNR	AC3	4	75	1,54	1,56	1,87	1,66
55	LV	FNR	AC3	8	0	1,19	1,19	1,74	1,37
56	LV	FNR	AC3	8	75	1,98	1,54	1,49	1,67

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; ⁴Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 7 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

(continua)

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
1	LVA	SFT	AC1	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
2	LVA	SFT	AC1	0	75	25,35	27,68	26,75	26,59
3	LVA	SFT	AC1	4	0	1,13	1,15	1,05	1,11
4	LVA	SFT	AC1	4	75	28,88	29,47	33,17	30,50
5	LVA	SFT	AC1	8	0	1,22	1,37	1,23	1,27
6	LVA	SFT	AC1	8	75	32,50	33,01	36,43	33,98
7	LVA	FNR	AC1	0	0	1,50	2,00	1,69	1,73
8	LVA	FNR	AC1	0	75	52,03	47,77	42,23	47,34
9	LVA	FNR	AC1	4	0	1,13	1,15	1,05	1,11
10	LVA	FNR	AC1	4	75	56,11	53,84	49,84	53,26
11	LVA	FNR	AC1	8	0	1,22	1,37	1,23	1,27
12	LVA	FNR	AC1	8	75	63,70	66,47	73,25	67,81
13	LVA	SFT	AC2	4	0	1,35	1,14	1,27	1,26
14	LVA	SFT	AC2	4	75	39,90	42,14	40,02	40,69
15	LVA	SFT	AC2	8	0	1,85	2,12	2,40	2,12
16	LVA	SFT	AC2	8	75	44,73	41,37	42,48	42,86
17	LVA	FNR	AC2	4	0	1,35	1,14	1,27	1,26
18	LVA	FNR	AC2	4	75	52,67	47,29	62,03	54,00
19	LVA	FNR	AC2	8	0	1,85	2,12	2,40	2,12
20	LVA	FNR	AC2	8	75	55,68	52,99	59,21	55,96
21	LVA	SFT	AC3	4	0	2,03	1,77	1,84	1,88
22	LVA	SFT	AC3	4	75	35,27	31,48	35,99	34,25
23	LVA	SFT	AC3	8	0	1,86	1,47	2,21	1,85
24	LVA	SFT	AC3	8	75	35,74	41,26	36,25	37,75
25	LVA	FNR	AC3	4	0	2,03	1,77	1,84	1,88
26	LVA	FNR	AC3	4	75	60,37	63,30	58,74	60,80
27	LVA	FNR	AC3	8	0	1,86	1,47	2,21	1,85
28	LVA	FNR	AC3	8	75	51,83	61,53	64,98	59,45
29	LV	SFT	AC1	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
30	LV	SFT	AC1	0	75	36,35	38,32	36,96	37,21
31	LV	SFT	AC1	4	0	1,86	1,82	2,72	2,13
32	LV	SFT	AC1	4	75	29,25	39,09	43,32	37,22
33	LV	SFT	AC1	8	0	1,82	1,77	1,84	1,81
34	LV	SFT	AC1	8	75	30,21	34,45	31,78	32,15
35	LV	FNR	AC1	0	0	1,44	1,29	1,55	1,43
36	LV	FNR	AC1	0	75	34,37	32,80	41,07	36,08
37	LV	FNR	AC1	4	0	1,86	1,82	2,72	2,13
38	LV	FNR	AC1	4	75	40,74	52,69	42,63	45,35
39	LV	FNR	AC1	8	0	1,82	1,77	1,84	1,81
40	LV	FNR	AC1	8	75	56,49	45,14	43,99	48,54

Tabela 7 – Dados originais para variável quantidade de P acumulado na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho no 2º cultivo para o experimento com formas de aplicação de ácido cítrico

Trat.	Solo ¹	Fonte P ²	Forma de aplicação ³	Doses ⁴	Dose P mg kg ⁻¹	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
						A	B	C	
41	LV	SFT	AC2	4	0	1,68	2,29	2,05	2,01
42	LV	SFT	AC2	4	75	36,69	42,79	47,38	42,29
43	LV	SFT	AC2	8	0	1,49	1,94	1,48	1,63
44	LV	SFT	AC2	8	75	40,20	45,28	34,64	40,04
45	LV	FNR	AC2	4	0	1,68	2,29	2,05	2,01
46	LV	FNR	AC2	4	75	72,12	68,61	75,14	71,96
47	LV	FNR	AC2	8	0	1,49	1,94	1,48	1,63
48	LV	FNR	AC2	8	75	66,45	64,46	69,14	66,68
49	LV	SFT	AC3	4	0	1,69	4,61	1,96	2,75
50	LV	SFT	AC3	4	75	34,75	49,13	47,73	43,87
51	LV	SFT	AC3	8	0	2,02	1,82	3,39	2,41
52	LV	SFT	AC3	8	75	42,68	52,88	41,77	45,78
53	LV	FNR	AC3	4	0	1,69	4,61	1,96	2,75
54	LV	FNR	AC3	4	75	54,36	50,48	67,79	57,54
55	LV	FNR	AC3	8	0	2,02	1,82	3,39	2,41
56	LV	FNR	AC3	8	75	58,03	49,79	51,87	53,23

¹LVA: latossolo vermelho amarelo, LV: Latossolo Vermelho; ²SFT: Superfosfato triplo p.a. (fonte padrão de P), FNR: fosfato natural reativo; ³AC1: ácido cítrico no plantio; AC2: ácido cítrico reposição; AC3: ácido cítrico parcelado; Doses: mmol kg⁻¹.

Tabela 8 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.) para as variáveis massa seca da parte aérea de plantas de milho e P acumulado para os solos LVA e LV em dois cultivos em função da dose de ácido cítrico e forma de aplicação

Fontes de Variação	G L	Valor F			
		LVA		LV	
		1º cultivo	2º cultivo	1º cultivo	2º cultivo
----- Massa seca da parte aérea -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	2035,25**	491,99**	1801,86**	344,94**
Dose de AC (D)	2	206,62**	15,61**	49,91**	1,11 ^{ns}
Forma de aplicação (FA)	2	166,68**	17,25**	32,40**	6,33**
FP x D	2	1,44 ^{ns}	1,70 ^{ns}	4,72*	6,81**
FP x FA	2	26,17**	8,03**	9,79**	1,36 ^{ns}
D x FA	4	42,46**	4,65**	8,26**	1,65 ^{ns}
FP x D x FA	4	8,54**	3,21*	2,55 ^{ns}	2,00 ^{ns}
C.V. (%)		7,8	7,2	8,7	8,3
----- P acumulado -----					
Bloco	2	-	-	-	-
Fonte de P (FP)	1	192,81**	414,34**	344,78**	63,17**
Dose de AC (D)	2	96,14**	50,00**	68,35**	34,81**
Forma de aplicação (FA)	2	41,47**	0,60 ^{ns}	86,43**	16,68**
FP x D	2	10,88**	0,42 ^{ns}	1,25 ^{ns}	19,22**
FP x FA	2	1,59 ^{ns}	8,06**	0,28 ^{ns}	7,34**
D x FA	4	11,38**	2,01 ^{ns}	22,05**	4,31**
FP x D x FA	4	0,44 ^{ns}	3,68*	0,28 ^{ns}	2,68*
C.V. (%)		11,4	8,8	10,0	11,3

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

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](#)