

JULIANA DE LIMA MORETTO

**TERMOFOSFATOS: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E ALTERAÇÕES QUÍMICAS
EM SOLOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE FÓSFORO**

Botucatu

2017

JULIANA DE LIMA MORETTO

**TERMOFOSFATOS: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E ALTERAÇÕES QUÍMICAS
EM SOLOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agricultura

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro
Büll

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M845t Moretto, Juliana de Lima, 1987-
Termofosfatos: eficiência agronômica e alterações químicas em solos com diferentes concentrações iniciais de fósforo / Juliana de Lima Moretto. - Botucatu: : [s.n.], 2017

83 p.: il. grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017

Orientador: Leonardo Theodoro Büll

Inclui bibliografia

1. Plantas - Efeito do fosforo. 2. Fertilizantes fosfatados. 3. Solos - Fertilidade. I. Büll, Leonardo Theodoro. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: TERMOFOSFATOS: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM SOLOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE FÓSFORO

AUTORA: JULIANA DE LIMA MORETTO

ORIENTADOR: LEONARDO THEODORO BÜLL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



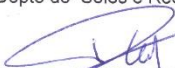
Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL

Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Botucatu, 24 de julho de 2017

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha saúde, pela minha família e amigos, por estar presente nos meus momentos de reflexão, e me abençoado por toda minha vida e durante essa jornada.

Aos meus pais pelo apoio, ajuda, amizade, amor, paciência, educação e exemplo. Sem vocês eu não seria nada, com vocês eu tenho amor e sinto força para qualquer coisa. Muito obrigada por toda a dedicação que sempre tiveram comigo. Amo vocês.

Ao professor Leonardo Theodoro Büll, a quem tenho muito estima. Obrigada pela orientação, ensinamentos, apoio, paciência e sobretudo pela amizade. Ser sua orientada é uma grande honra.

Aos professores doutores e integrantes da banca examinadora Dirceu Maximino Fernandes, Leonardo Theodoro Büll e Renato de Mello Prado pelas correções, sugestões, ensinamentos, que, mesmo num curto período de tempo, foram de grande valia para a pesquisa realizada e também para mim como profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

Aos servidores da FCA e do Dpto de Solos e Recursos Ambientais que me ajudaram das mais diversas formas para realização desse trabalho. Ao Pedrinho, pela ajuda constante durante todo o experimento e pela amizade. Ao José Carlos pela atenção, orientação e ajuda nos laboratórios, à Martha, Larissa, Luis, Dorival por todas as vezes que me auxiliaram no laboratório. À Adriana Ramos, sr. De Pieri, Adriana Papa, Selminha, Felipe, Silvinha, Adilson, obrigada por toda a ajuda. Agradeço também aos servidores da FEPP, principalmente ao Mario, amigo de longa data a quem tenho muito apreço, Rubya, e demais funcionários, residentes e estagiários pelo apoio para encontrarmos os solos desejados para o experimento.

Às minhas amigas e também orientadas do prof. Büll, Lais, Natália e Angélica, pelas dicas, conselhos e ajuda. Às estagiárias Bianca, Bruna e Amanda. Aos amigos da pós-graduação FCA: Renan, pela amizade e ajuda com o *software* estatístico; Arafat, pelas conversas, conselhos e amizade de longa data; Marco, Pietro, Ti-ralo, Vitor, pela ajuda e amizade.

Aos amigos de Botucatu e de fora, por continuarem como sempre ao meu lado, grata pela amizade, apoio, risadas: Ronaldo, Sheila, Tancler, Cris, Silas, Andrezinho, Cerca, Priscila Pezzolato (Tica), Bruno Greco, Van, entre outros.

Agradeço ao Ricardo, que esteve constantemente ao meu lado, antes e durante a realização do meu mestrado, me ajudando e apoiando em todos os momentos, bons,

nem tão bons, e fazendo parte do que sou hoje, você é muito importante pra mim, adoro-te.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

A fertilização fosfatada nos solos tropicais possui eficiência muito variável, dependendo, dentre outros fatores, da fonte de P utilizada, das propriedades do solo e da espécie e variedade vegetal cultivada. Dentro desse contexto, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de termofosfatos, em solos com concentrações iniciais de P distintas, utilizando-se o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) como planta indicadora. Foi utilizado um Nitossolo da Fazenda Experimental Lageado, coletado em área de produção agrícola, com médio teor de P. Adjacente à área de produção, em mata natural, coletou-se o mesmo solo, com baixo teor de P. Em casa de vegetação elaborou-se um experimento com delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4x3+1, dose zero como tratamento controle, com quatro repetições. Os fatores foram quatro fertilizantes fosfatados (termofosfato magnesiano, termofosfato potássico, termofosfato grosso, e superfosfato triplo como referência), e três doses (40, 80 e 120 mg dm⁻³ de P). O solo foi avaliado ao final do experimento quanto a sua composição química (teor de P, K, Ca, Mg e Si). As plantas foram avaliadas morfológicamente (altura, diâmetro de caule, massa de matéria seca) e quimicamente (teor dos mesmos elementos). Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). O termofosfato com granulometria grosseira tem sua eficiência altamente prejudicada em razão de sua menor solubilidade. A adubação potássica TK+KCl, num solo com baixo teor inicial de K, tem menor eficiência que a adubação integral com KCl. Os termofosfatos possuem eficiências agronômicas distintas em função da concentração inicial de P no solo, eles são mais eficientes quando esse nível é previamente adequado. O índice de eficiência agronômica dos termofosfatos TM e TK é inferior ao padrão num solo com baixo teor inicial de P, e superior ao padrão num solo com adequado teor inicial de P.

Palavras-chave: Termofosfatos. Eficiência agronômica. Diferentes concentrações iniciais de fósforo. Adubação fosfatada.

ABSTRACT

Phosphate fertilization on tropical soils has very variable efficiency, depending, among others factors, from the P source used, the soil properties and the vegetal specie and variety cultivated. Inside this context, the objective of this experiment was to evaluate the thermophosphates agronomic efficiency, in soils with different phosphorus initial concentration, using millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) as indicator plant. It was used a Nitosol from the Experimental Farm Lageado, collected in an agricultural production area, with medium concentration of P. Adjacent to the production area, in an natural forest, the same soil was collected, with low P concentration. The experiment was elaborated in a greenhouse, with a randomized block design in a 4x3+1 factorial design, zero dose as control treatment, with four replications. The factors were four phosphate fertilizers (magnesium thermophosphate (TM), potassium thermophosphate (TK), coarse thermophosphate, and triple superphosphate (ST) as reference), and three doses (40, 80 and 120 mg dm⁻³ of P). At the end of the experiment the soil chemical composition (P, K, Ca, Mg and Si content) was evaluated. The plants were morphologically evaluated (height, stem diameter and dry matter weight) and chemically evaluated (content of the same elements). Data were submitted to analysis of variance (Test F) and the means of the treatments were compared by the Tukey test ($\alpha = 5\%$). The thermophosphate with coarse granulometry has its efficiency highly impaired due its lower solubility. The potassium fertilization TK + KCl, in a soil with low initial K content, has lower efficiency than total fertilization with KCl. The thermophosphates have different agronomic efficiencies, depending of the initial concentration of P in the soil, they are more efficient when this level is previously adequate. The agronomic efficiency index of TM and TK thermophosphates is lower than the standard fertilizer in a soil with a low initial P content, and higher than the standard in soil with an adequate initial P content.

Keywords: Thermophosphates. Agronomic efficiency. Different phosphorus initial concentrations. Phosphate fertilization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química dos solos utilizados no experimento.....	28
Tabela 2 - Composição química (teor total de nutrientes) e granulometria das fontes.....	29
Tabela 3 - Potássio no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizante.....	34
Tabela 4 - Potássio no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes.....	35
Tabela 5 - Teor de Ca no solo em função da aplicação dos fertilizantes.....	36
Tabela 6 - Teor de Mg no solo em função da aplicação das quatro doses dos fertilizantes fosfatados.....	38
Tabela 7 - Teor de Si no solo em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	41
Tabela 8 - Teores de P nos solos em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	43
Tabela 9 - Concentração de P na parte aérea da planta em função da aplicação dos fertilizantes.....	46
Tabela 10 - Quantidade de P acumulado nas plantas em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	47
Tabela 11 - Concentração de K no tecido vegetal em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	50
Tabela 12 - Quantidade de K acumulado na parte aérea do milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	52
Tabela 13 - Potássio acumulado na parte aérea do milho no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes.....	52
Tabela 14 - Concentração de Ca no tecido vegetal em função da aplicação dos fertilizantes.....	54
Tabela 15 - Quantidade de Ca acumulado nas plantas de milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	56

Tabela 16 - Ca acumulado nas plantas de milho no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes.....	56
Tabela 17 - Magnésio no tecido vegetal de parte aérea em função da aplicação de doses dos fertilizantes fosfatados no solo BP.....	58
Tabela 18 - Magnésio no tecido vegetal de parte aérea em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP.....	58
Tabela 19 - Quantidade de Mg acumulado nas plantas de milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	59
Tabela 20 - Concentração de Si na parte aérea das plantas em função da aplicação dos fertilizantes.....	61
Tabela 21 - Silício acumulado no tecido vegetal em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP.....	63
Tabela 22 - Silício acumulado no tecido vegetal em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP.....	64
Tabela 23 - Altura das plantas de milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP.....	66
Tabela 24 - Altura das plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP.....	66
Tabela 25 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP.....	68
Tabela 26 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP.....	68
Tabela 27 - Massa de matéria seca da parte aérea do milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes.....	73

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Saturação por bases (V%) no solo MP em função da aplicação das doses dos fertilizantes.....	33
Figura 2 - Teor de Ca no solo em função das doses dos fertilizantes aplicados.....	37
Figura 3 - Teores de Mg no solo em função das doses dos fertilizantes fosfatados aplicados.....	39
Figura 4 - Teor de P nos solos em função da aplicação das doses dos fertilizantes....	44
Figura 5 - Concentração de P na planta em função das doses dos fertilizantes....	46
Figura 6 - Fósforo acumulado na parte aérea das plantas em função das doses de P.....	48
Figura 7 - Potássio acumulado na parte aérea do milho em função dos fertilizantes aplicados.....	53
Figura 8 - Concentração de Ca na parte aérea das plantas em função das doses dos fertilizantes.....	55
Figura 9 - Ca acumulado nas plantas de milho no solo MP em função das doses dos fertilizantes.....	57
Figura 10 - Teor de Mg na parte aérea das plantas em função das doses dos fertilizantes fosfatados no solo MP.....	59
Figura 11 - Mg acumulado na parte aérea das plantas de milho com o uso dos fertilizantes, no solo MP.....	60
Figura 12 - Concentração de Si na parte aérea das plantas com aplicação das doses dos fertilizantes.....	62
Figura 13 - Si acumulado no tecido vegetal em função das doses dos fertilizantes aplicados no solo MP.....	64
Figura 14 - Altura das plantas de milho em função das doses dos fertilizantes aplicados.....	67
Figura 15 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função das doses dos fertilizantes fosfatados.....	69

Figura 16 - Exemplar de uma testemunha do solo BP (à esquerda), e testemunha do solo MP (à direita).....	70
Figura 17 – Matéria seca da parte aérea em função das doses dos fertilizantes.....	73
Figura 18 - IEA quanto à produção de matéria seca da parte aérea do milho.....	75
Figura 19 - IEA quanto ao acúmulo de P na parte aérea do milho.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Fósforo no solo.....	20
2.2	Silício no solo.....	22
2.3	Interação silício e fósforo no solo.....	23
2.4	Eficiência agrônômica dos termofosfatos.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Localização e caracterização do experimento.....	28
3.2	Caracterização dos solos.....	28
3.3	Caracterização das fontes de fertilizantes.....	28
3.4	Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	29
3.5	Condução do experimento.....	29
3.6	Parâmetros avaliados.....	30
3.7	Análise estatística.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	Atributos químicos dos solos.....	32
4.1.1	pH e saturação por bases (V%).....	32
4.1.2	Teores de potássio, cálcio e magnésio nos solos.....	33
4.1.3	Teor de silício nos solos.....	39
4.1.4	Teor de fósforo lábil nos solos.....	41
4.2	Atributos das plantas de milho.....	44
4.2.1	Teor e acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas.....	44
4.2.2	Correlação P extraído do solo e acúmulo de P na planta.....	48
4.2.3	Teor e acúmulo de K nas plantas.....	49
4.2.4	Correlação K extraído do solo e acúmulo de K na planta.....	53
4.2.5	Teor e acúmulo de Ca e Mg e nas plantas.....	54
4.2.6	Teor e acúmulo de silício nas plantas.....	60
4.2.7	Correlação Si extraído do solo e acúmulo de Si na planta.....	64
4.2.8	Altura e diâmetro de caule das plantas.....	65
4.2.9	Massa de matéria seca da parte aérea.....	69
4.2.10	Índices de eficiência agrônômica (IEA).....	74

4.2.10.1	IEA na produção de matéria seca da parte aérea.....	74
4.2.10.2	IEA no acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas.....	75
5	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O adequado fornecimento de fósforo às plantas é uma das mais importantes condições para o aumento de produtividade dos cultivos agrícolas. Ao realizar uma adubação fosfatada, na tentativa de suprir a necessidade de fósforo às plantas, evidencia-se a baixa eficiência dos fertilizantes solúveis nesse quesito, devido a elevada imobilização do fósforo pelo solo, obrigando adições de quantidades maiores que as reais necessidades da cultura.

A alta intemperização dos solos tropicais caracteriza grandes quantidades de óxidos de ferro, óxidos de alumínio e de argilas do grupo mineral das caulinitas (ALLEN e HAJEK, 1989). Esse padrão colabora para aumentar o papel do solo como dreno. Fertilizantes como superfosfato triplo, de uso comum na agricultura, têm alta solubilidade em água, o que torna-o prontamente disponível para as plantas, assim como para o solo. O fósforo que a planta não usa de imediato com o tempo torna-se indisponível. Isso ocorre graças à ligação de alta energia que o ânion estabelece com os colóides, formando compostos altamente estáveis na fase sólida (GATIBONI, 2003).

Os termofosfatos são fertilizantes fosfatados compostos, de forma geral, de rocha fosfática e silicatos. A presença do íon silício compreende um caráter alcalinizante ao adubo. E, ainda, os ânions silicato e fosfato são competidores pelos mesmos sítios de adsorção do solo (FASSBENDER, 1987), participando do aumento de disponibilidade de P nos solos. Os termofosfatos são fertilizantes fosfatados insolúveis em água e com alta solubilidade em ácido cítrico, essa característica traz grande interesse quando comparada à solubilidade dos fosfatos acidulados. A partir da acidez natural da solução do solo vislumbra-se uma liberação gradativa do ânion fosfato dos termofosfatos, e, por conseguinte, menor retenção/fixação do P às partículas do solo possibilitando maior absorção pelas plantas.

No entanto, entre agricultores, profere-se que os termofosfatos possuem menor eficiência agrônômica quando utilizados em solo com baixo teor inicial de P. Desse modo, objetivou-se estimar a eficiência agrônômica de termofosfatos em solos com diferentes concentrações iniciais de P.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em solos nas condições tropicais brasileiras, cerca de 80% do fósforo adicionado durante a adubação, rapidamente torna-se indisponível para uso das plantas (HOLFORD, 1997). A procura por formas de diminuir a fixação desse P é um grande desafio da pesquisa. Uma das alternativas é buscar fertilizantes que, mesmo com menor solubilidade, portanto menor fixação de P às micelas do solo, possuam elevada eficiência no fornecimento de P às plantas. Exemplos de fertilizantes com essas características e com eficiências variáveis tem-se os fosfatos naturais, fosfatos naturais reativos, escória de Thomas, hiperfosfatos e os termofosfatos (TF).

Os termofosfatos são rochas apatíticas fundidas com silicato de magnésio ($MgSiO$) à cerca de $1500^{\circ}C$. O produto incandescente obtido é submetido a um choque térmico com jato de água, e posteriormente seco e moído. Possuem em média 18% de P_2O_5 e tem sua solubilidade influenciada diretamente pelo pH do solo e matéria orgânica. Essa fonte de fósforo é rica em cálcio e magnésio, e apresenta efeito corretivo pela presença do silicato em sua constituição, atuando assim como corretivo da acidez do solo (GOEDERT e LOBATO, 1984).

2.1 Fósforo no solo

Vários são os fatores que atraem a atenção da comunidade científica e levam a demasiados estudos relativos ao fósforo nos solos intemperizados, dentre eles destacam-se a) P é o elemento de maior limitação no crescimento vegetal nas nossas condições; b) é o nutriente que tem o maior grau e complexidade de interação com o solo; c) a preocupação com fornecimento desse nutriente para os cultivos, considerando as reservas fosfatadas escassas no mundo.

O fósforo é encontrado na fase líquida e sólida do solo. Sendo que a parte encontrada na solução do solo é muito pequena, menos de $0,1mg/L$ de P, esse fato é devido à forte interação desse elemento com os colóides do solo (RAIJ, 1991). As formas iônicas nas quais o P encontra-se livre na solução do solo variam em função do pH, podendo ser o $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , ou PO_4^{3-} . Em solos tropicais, em função do valor de pH normalmente encontrado ser em torno de 4,5 a 5,5, o fósforo ocorre quase

que exclusivamente como ânion ortofosfato (H_2PO_4^-), no geral na faixa pH de 2 a 6,5 há o predomínio dessa espécie (RAIJ, 2011).

Na fase sólida do solo o P é encontrado nas formas inorgânica e orgânica. O P inorgânico presente na fase sólida do solo se origina: a) dos fosfatos livres na solução do solo que são facilmente adsorvidos aos colóides do solo ou sofrem precipitação; b) das rochas fosfáticas intemperizadas, principalmente as que contêm minerais de apatita; c) da mineralização da matéria orgânica do solo; d) também são oriundos dos fertilizantes adicionados ao solo. (YAMADA et al.,2004)

O P inorgânico corresponde a mais de 70% do P total. Esse possui tendência de formar compostos de solubilidade extremamente baixa com Al, Fe e Ca. Existe grande afinidade entre eles e os ânions fosfatos. A reação de fosfatos com esses elementos pode ocorrer tanto na solução do solo, como na superfície das partículas da fração argila. A característica da ligação química do ânion fosfato se diferencia dos demais íons. Ele realiza ligação química do tipo covalente ou de troca de ligantes, isto é, o P é adsorvido especificamente. Por exemplo, quando o P é adsorvido a um óxido hidratado de alumínio existe uma alteração na superfície do óxido com a entrada do fosfato no lugar da hidroxila presente em sua superfície (RAIJ, 2011).

A fixação inorgânica (ligações explanadas anteriormente) e a imobilização microbiana do P em compostos orgânicos são fatores que mantêm a disponibilidade de P para as plantas baixa frente ao verdadeiro *pool* de P existente no solo (YAMADA et al.,2004) Ao realizar uma adubação fosfatada ocorre de imediato uma elevação do P na solução do solo, e então a maior parte do elemento é adsorvido à fase sólida, a capacidade de adsorção desse P varia de acordo com o tipo de solo, podendo ser muito elevada em solos argilosos, solos ricos em ferro e alumínio. Essa parte do fosfato que passa para a fase sólida não formam ligações muito estáveis imediatamente, permanecendo na forma lábil e podendo retornar à solução. Com o tempo o P lábil vai se transformando em P não lábil (RAIJ, 2011).

Quando o elemento se encontra adsorvido na superfície de minerais, com o tempo vai ocorrendo um envelhecimento desse P lábil, que vai adquirindo constituição mineralógica mais estável e de difícil solubilização (RAIJ, 2011). Ainda, posteriormente o P está sujeito a ser recoberto por outros elementos, tornando-se ocluso, essa é a forma que indisponibiliza totalmente o fósforo.

2.2 Silício no solo

O silício há poucos anos está presente na agricultura brasileira. Tem sido utilizado como fertilizante em vários países como Japão, EUA, Austrália e África do sul (KORNDORFER et al., 2011). O Japão utiliza silício no cultivo de arroz há 6 décadas (MARAFON e ENDRES, 2011). O silício acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1% e 10% da matéria seca, mas ele não é considerado um nutriente, pois não há evidência de que o Si está envolvido no metabolismo das plantas, sendo esse um dos critérios de essencialidade estabelecidos por Arnon e Stout (1939) (MA, 2015). A concentração mínima de Si para que uma planta seja considerada acumuladora de silício situa-se em no mínimo 10,0 g kg⁻¹, as não acumuladoras teor menor que 5,0 g kg⁻¹, e as intermediárias teor menor que 10,0 g kg⁻¹ (MA et al., 2001).

O silício encontra-se facilmente no ambiente, devido isso é muito difícil a comprovação de sua essencialidade para as plantas (WERNER e ROTH, 1983), sendo esse elemento, então, considerado como “quase-essencial” ou “agronomicamente essencial”, por propiciar vários efeitos benéficos para muitas espécies vegetais (EPSTEIN e BLOOM, 2005).

Culturas acumuladoras de silício, principalmente, tem mostrado resultados expressivos com a aplicação do elemento. Em plantas como arroz, cana-de-açúcar, milho, o silício se deposita na epiderme foliar formando uma barreira mecânica que leva a diminuição da transpiração da planta, maior proteção contra pragas e doenças, além de promover rigidez estrutural nos tecidos vegetais (EPSTEIN, 2001) influenciando a estrutura das plantas, que ficam mais eretas, evitando o acamamento (KORNDORFER e DATNOFF, 2000) e melhorando a eficiência fotossintética, com consequente aumento de produtividade.

O Si foi incluído na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos como micronutriente (RODRIGUES et al., 2011). No entanto, como silício não é reconhecido como elemento essencial para o crescimento das plantas, sua classificação como micronutriente é errônea. Hoje os silicatos tem importância crescente como condicionadores do solo, além de poderem proporcionar diversos benefícios para as plantas.

Em geral, os solos possuem de 5 a 40% de Si na sua composição e essa variação se deve a grau de intemperismo dos solos. Os mais intemperizados, como os latossolos, possuem baixos teores, enquanto solos mais jovens como cambissolos concentram maiores teores do elemento. Os solos tropicais, podem apresentar, em alguns casos, quantidade de silício cinco a dez vezes menores que em solos de regiões temperadas (FOY, 1992).

A forma disponível de Si para as plantas é proveniente da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, da liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, da dissolução de minerais cristalinos e não-cristalinos, da adição de fertilizantes silicatados e da água de irrigação (FILGUEIRAS, 2007). Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução, formando minerais; a polimerização do ácido silícico; lixiviação; adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al; e a absorção pelas plantas (SAVANT, DATNOFF e SNYDER, 1997).

Apesar do aumento de interesse pelas fontes silicatadas, o Si ainda é pouco utilizado devido à falta de fontes, como escórias, distribuídas pelo Brasil, o que onera as despesas com transporte. Também há desconhecimento dos técnicos e agricultores sobre as vantagens do Si na agricultura (MARAFON e ENDRES, 2011) além de muitos estudos ainda estarem sendo realizados para obtenção dos níveis críticos de Si no solo em relação às culturas.

Muitos materiais podem ser utilizados como fonte de Si para as plantas: escórias de siderurgia, wollastonita, silicato de cálcio, termofosfato, silicato de magnésio, silicato de potássio, casca de arroz. A wollastonita é um silicato de cálcio muito utilizado em experimentação agrícola como fonte de Si. As escórias são as fontes mais abundantes e baratas de silicato. As fontes comercialmente importantes são a Wollastonita, escórias, termofosfatos e silicato de potássio, esse último apresenta-se como líquido solúvel sendo comum em adubação foliar. (KORNDORFER, 2007)

2.3 Interação silício e fósforo no solo

Vários estudos são elaborados com finalidade de melhorar a disponibilidade de P nos solos, uma das vias estudadas é a aplicação de silício no solo. O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de

adsorção que o fósforo (FASSBENDER, 1987), impossibilitando ou dificultando sua adsorção e proporcionando maiores quantidades de P na solução do solo.

A aplicação de silicatos ao solo, além de elevar o valor pH, pode disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (VOLKWEISS e RAIJ, 1976). Após a ação alcalinizante no solo pelo silicato de cálcio (CaSiO_3), há a formação do H_4SiO_4 , que se transforma em H_3SiO_4^- em valor pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o H_2PO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção (HINGSTON, POSNER e QUIRK, 1972).

A interação silício fósforo em um Cambissolo proporcionou ganho em fósforo pelas plantas, quando o silício foi aplicado no solo posteriormente à adubação fosfatada (CARVALHO, 1999). Em um Latossolo Smyth e Sanchez (1980) observaram redução na retenção de fósforo de 18% e 24%, após a aplicação de calcário e silicato de cálcio, respectivamente, além do aumento da CTC do solo.

Foi avaliada a ação alcalinizante e a competição Si x P na eficiência do termofosfato magnésiano em relação ao superfosfato triplo por Baldeón (1995), observou-se a superioridade do termofosfato na produção de massa seca da parte aérea das plantas, e este resultado foi atribuído à competição Si x P combinada com a ação alcalinizante do fertilizante.

Utilizando um Latossolo Vermelho-Amarelo, Prado e Fernandes (2001) avaliaram o efeito da escória de siderurgia comparado ao calcário na concentração do P disponível. A aplicação da escória de siderurgia incrementou o teor de P disponível no solo de forma linear, ao passo que com o calcário não obteve-se relação significativa. Ainda que o calcário e a escória apresentaram efeito linear semelhante quanto a redução da acidez potencial e na elevação da saturação por bases do solo. Concluindo que a maior eficiência da escória sobre o calcário em aumentar a disponibilidade de P deve-se mais ao efeito do silicato contido na escória, exercendo competição dos ânions de silicato com os fosfatos pelos mesmo sítios de adsorção (SMYTH e SANCHEZ, 1980), do que ao efeito do pH propriamente dito.

Devido à presença do ânion silicato, além do caráter alcalizante, os termofosfatos podem colaborar para uma menor sorção dos ânions fosfatos ao solo.

2.4 Eficiência agrônômica dos termofosfatos

Os fertilizantes fosfatados tem sua origem da rocha fosfática, que é constituída por minerais do grupo das apatitas. Os minerais apatíticos formaram-se sob diferentes regimes geológicos – ígneos, metamórficos ou sedimentares – além de transformações por intemperismo, lixiviação, entre outras (KAMINSKI e PERUZZO, 1997)

As rochas fosfatadas ígneas, são aquelas resultantes da solidificação do magma, são constituídas de fosfato na forma tal que naturalmente é insolúvel, são extraídas de minas, cujo principal mineral é a fluorapatita. São utilizadas para a produção de fertilizantes fosfatados solúveis, através de ataque por ácidos fortes (CHAVES, 2010)

As rochas fosfatadas ígneas são manipuladas pela indústria também a partir da fusão, produzindo os chamados termofosfatos. Eles são rochas apatíticas fundidas com silicato de magnésio ($MgSiO$) à cerca de $1500^{\circ}C$. O produto incandescente obtido é submetido a um choque térmico com jato de água, e posteriormente seco e moído. São fertilizantes fosfatados insolúveis em água e com alta solubilidade em ácido cítrico (AC).

Os termofosfatos possuem em média 18% de P_2O_5 com 16,5% solúvel em AC. Apesar da insolubilidade do termofosfato em água e portanto aparente disponibilidade mais limitada de P para a planta, alguns trabalhos indicam que, mesmo em curto prazo, ele pode ser tão ou mais eficiente no fornecimento de P que adubos solúveis em água. Miranda et al. (1970) conduziram experimento em algumas localidades do estado de São Paulo com milho, avaliando tratamentos com fosfatos (Superfosfato simples - referência, 2/3 de superfosfato simples com 1/3 de apatita de Araxá, termofosfato, fosforita de Olinda, fosfato Alvorada, apatita de Araxá) e observaram que no tratamento com termofosfato a média de produtividade de grãos obtida foi superior à referência.

A influência do calcário e de cinco fertilizantes fosfatados foram avaliados num Planossolo franco-arenoso. Constatou-se que a produtividade de soja foi superior nos tratamentos com Escória de Thomas (ET) e TF Yoorin na ausência de calcário. No tratamento com calagem o superfosfato triplo (ST), superfosfato simples (SS); fosfato de gafsa (FG) ; ET e TF Yoorin tiveram eficiência semelhante (MACHADO, VIANNA

E CASALINHO, 1983). Com cultivos anuais sucessivos por oito anos, Goedert e Lobato (1984) estudaram a eficiência agrônômica, quanto ao fósforo extraído pelas plantas, de onze fontes fosfatadas (ST, TF, FG, Fosfato natural (FN) da Flórida, FN de Tennessee (EUA), e mais 6 fosfatos naturais brasileiros), puderam concluir que o TF teve maior eficiência. Nos primeiros quatro anos foi avaliada a produtividade de trigo, soja e arroz; o TF e o FG se comportaram de modo equivalente ao ST.

Em experimento com o termofosfato "Yoorin Master" em pó e granular e com termofosfato "MG-Yoorin" em pó, Büll et al. (1997) concluíram que as produções de biomassa de alface e os índices de eficiência agrônômica proporcionados pelos termofosfatos em pó e ST equivaleram-se e foram superiores àqueles obtidos com a forma granular. O termofosfato magnesiano ("MG-Yoorin") proporcionou o maior acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas. O acúmulo de P nas folhas nem sempre se relacionou com o aumento da biomassa da alface. A disponibilidade de P resina no solo não se relacionou com a produção e o P absorvido para o termofosfato granular.

Os efeitos de fontes (fosfato de Araxá, TF, fosfato de Arad e o ST) e doses de fósforo foram observadas no desenvolvimento e produção do cafeeiro. As fontes de fósforo comportaram-se de forma semelhante quanto às características de desenvolvimento do cafeeiro. Aos 30 meses após o plantio, as maiores produtividades foram obtidas quando se utilizou o ST e o TF; aos 41 meses as maiores produtividades foram observadas quando se utilizou os fosfatos de Araxá, de Arad e o TF (MELO et al., 2005). Em experimento com TF, ST e FG, Ieiri et al. (2010) obtiveram que o TF proporcionou um maior teor médio de fósforo no solo, e na aplicação de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o TF e o ST não diferiram entre si, e foram superiores ao FG, na produtividade de MS de parte aérea de braquiária, tanto no manejo incorporado como no não incorporado dos fertilizantes.

Ao avaliar o crescimento inicial de plantas de milho (35 dias) em vasos, Souza et al. (2011) concluíram que o termofosfato magnesiano em relação ao ST obteve IEA de 95% num Latossolo Amarelo de textura média e 110% num Latossolo Vermelho argiloso. Já em cana-de-açúcar Santos, Sousa e Korndörfer (2012) avaliaram o IEA de fontes fosfatadas aplicadas pré-plantio num Latossolo Vermelho ácrico, textura argilosa. O termofosfato magnesiano obteve IEA de 109%, 71% e 88% no 1º, 2º e 3º

cortes, respectivamente, tendo como referência o ST. Não há artigos mais atuais demonstrando, sob condições diversas, a eficiência agronômica dos termofosfatos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento foi realizado em vasos de 20 L (diâmetro: 31 cm, altura: 32 cm), contendo 18 L de solo, em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas/FCA da UNESP, no município de Botucatu, SP.

3.2 Caracterização dos solos

Foi selecionado e amostrou-se um solo com teor médio de P (MP) para culturas anuais ($16 - 40 \text{ mg dm}^{-3}$) (RAIJ, 1997), localizado em uma área que durante anos vem sendo cultivada com culturas anuais, ou seja, a concentração de P aumentou ao longo do tempo. Trata-se de um Nitossolo (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa (argila= 562 g/kg, areia= 108 g/kg e silte= 330 g/kg – camada de 0-20 cm).

A segunda amostra de solo foi coletada a cerca de 20 metros de distância da primeira, em área de mata natural, consistindo no mesmo solo, mas com baixo teor de P (BP) para culturas anuais (RAIJ, 1997). Trata-se de um Nitossolo (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa (argila= 586 g/kg, areia= 120 g/kg e silte= 294 g/kg – camada de 0-20 cm). Os resultados da análise química dos solos, antes do início do experimento, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química das amostras dos solos utilizados no experimento.

	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	Zn
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol/dm ³ -----						-- mg/dm ³ --			
Solo MP	6,0	22	35	0	25	3,2	77	39	120	145	83	30	1,9
Solo BP	4,0	34	7	18	114	0,2	22	7	29	143	20	25	0,4

3.3 Caracterização das fontes de fertilizantes

As fontes de fertilizantes fosfatados utilizadas no experimento foram: termofosfato magnésiano (TM), termofosfato magnésiano potássico (TK), termofosfato magnésiano “grosso” (TG) e superfosfato triplo (ST), como referência.

A amostragem e determinação das características dos fertilizantes fosfatados seguiram metodologia descrita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2014), sendo realizadas no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP, Botucatu, SP. As características das fontes encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química e granulométrica das fontes fosfatadas

Fontes	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O	Ca	Mg	Si	Granulometria (Passante)
	(Total)	(AC)	%					
TM	16,00	16,5	0,70	-	18,80	12,00	11,60	0,15 mm = 75%
TK	12,00	11,0	4,00	4,0	15,00	5,60	14,80	pó
TG	17,00	16,5	2,00	-	18,30	8,00	10,80	0,84 mm = 85%
ST	48,08	-	0,00	-	13,10	0,26	-	grânulo

AC: Solúvel em ácido cítrico 2% (1:100) – valor fornecido pelo fabricante

3.4 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados esquema fatorial 4x3+1, dose zero como tratamento controle, com quatro repetições. Os fatores foram quatro fontes (TM, TK, TG e ST) e três doses de fósforo (40, 80 e 120 mg dm⁻³) com testemunha sem adubação fosfatada.

3.5 Condução do experimento

O solo BP, inicialmente, recebeu calagem (aplicação e homogeneização de calcário com 26% de Ca, 9% de Mg e PRNT de 99%), permaneceu incubado por 30 dias, com a umidade mantida a 70% da capacidade máxima de retenção de água. A quantidade de calcário foi calculada visando atingir a saturação por bases (V%) de 83%, a mesma encontrada no solo MP. A saturação atingida com a realização da calagem foi de 87%.

Após o período de incubação, foi realizada a adubação dos solos com os macro e micronutrientes. Para a adubação nitrogenada foram aplicados 60 mg dm^{-3} de N, via solução de sulfato de amônio, metade na adubação de semeadura, metade na adubação de cobertura (início do perfilhamento). Para a adubação potássica foram aplicados 120 mg dm^{-3} de K (via KCl) em semeadura. Para o tratamento TK foi calculada a quantidade necessária para atingir 120 mg dm^{-3} de K, e essa foi complementada via cloreto de potássio.

Também no momento da semeadura foram adicionadas as fontes de fósforo, os fertilizantes (N, P e K) foram incorporados e homogeneizados ao solo na adubação de semeadura. Na adubação de cobertura os fertilizantes foram diluídos em água e adicionados sobre a superfície do solo. Como fonte de micronutrientes acrescentou-se, semanalmente, uma solução padrão contendo B, Mn, Zn e Cu (HOAGLAND e ARNON, 1950).

A espécie utilizada foi o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivar BRS 1501. Após a adição dos fertilizantes, foram semeadas 15 sementes de milheto por vaso e quinze dias após a emergência foi realizado desbaste deixando-se 5 plantas por vaso.

3.6 Parâmetros avaliados

As plantas de milheto foram conduzidas por 50 dias após a emergência, sendo determinados altura de plantas e diâmetro do caule. O diâmetro foi medido na altura de 1 cm do solo com o auxílio de um paquímetro digital e a altura com auxílio de régua milimetrada.

As plantas foram coletadas para avaliação da massa de matéria seca, teor de fósforo e demais nutrientes. Para determinar a massa de matéria seca, as plantas foram lavadas em água deionizada e detergente neutro e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C para secagem até massa constante. Depois de pesada, a mesma foi triturada em moinho tipo Wiley. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). O teor de silício foi determinado pela metodologia descrita por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004). Com os dados dos teores de K, Ca, Mg, P e Si e a massa da matéria seca, foi calculado o acúmulo desses elementos na parte aérea das plantas.

Após o final do ciclo de cultivo do milho, também foi realizada a análise química dos solos. O solo das unidades experimentais foi revolvido e homogeneizado para realização das amostragens. Foram avaliados pH em CaCl_2 , teor de P, K, Ca, Mg, extraídos pela resina trocadora de íons, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). Também foi avaliado o teor de Si pelo método descrito por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004) com solução de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

Foi calculado o Índice de Eficiência Agronômica – IEA com base no diferencial dos dados obtidos entre os termofosfatos avaliados e o superfosfato triplo, considerando-se tanto a produção média de matéria seca da parte aérea como a quantidade média de fósforo acumulada pela parte aérea (BÜLL et al., 1997).

$$\text{IEA} = \frac{(\text{Produção com termofosfato avaliado} - \text{produção sem P})}{(\text{Produção com super triplo} - \text{produção sem P})} \times 100$$

3.7 Análise estatística

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (teste F); as diferenças significativas das variáveis qualitativas tiveram as médias comparadas pelo teste de Tukey com $\alpha=5\%$; já as variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão, sendo todos os modelos escolhidos de acordo com significância mínima de 5%, com auxílio do programa SISVAR (Ferreira, 2003). Os gráficos foram feitos com o software SIGMAPLOT 10.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos dos solos

Analisou-se a interação entre os fertilizantes e as doses de fósforo para as seguintes variáveis do solo: pH em CaCl_2 , V%, teores de K, Ca, Mg, Si e P.

4.1.1 pH (CaCl_2) e saturação por bases (V%)

O valor de pH (CaCl_2) de ambos os solos estudados não apresentou diferença estatística entre os tratamentos pela análise de variância ($\alpha=5\%$). O solo BP possuía pH 4,0, principalmente devido a calagem realizada antes do início do experimento resultou em 6,6, em média, ao final do experimento. No solo MP, o pH da testemunha foi de 6,3; para ST foi 6,3; TG 6,4; TK 6,4; e TM 6,5. Os índices de pH dos solos são considerados adequados para a cultura do milho, e não sofreram alterações consideráveis com uso dos termofosfatos.

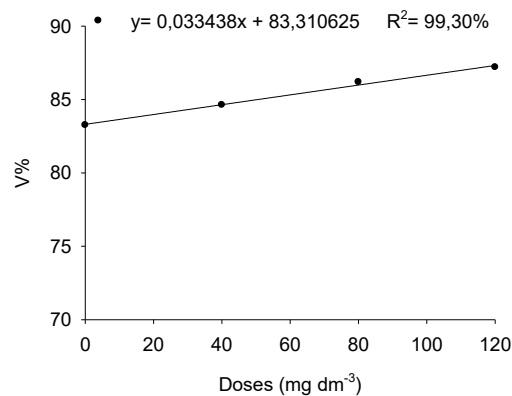
O termofosfato pode apresentar efeito corretivo sobre a acidez do solo, devido à presença do ânion silicato que age neutralizando íons H^+ , similar à ação do ânion carbonato, encontrado no calcário. Na literatura há diversos estudos nesse sentido. Defelipo et al. (1978) observaram que o pH (em H_2O) de um Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, elevou-se de 4,1 para 6,0; 6,5; 7,1 e 7,5, com a utilização de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 Mg ha^{-1} de termofosfato, respectivamente. Morelli et al. (1991) durante experimento com cana-de-açúcar em areia quartzosa, observaram elevação no pH (em CaCl_2) do solo de 5,0 para 5,6 e 6,1, utilizando termofosfato nas doses de 200 e 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente.

No entanto, Coutinho et al. (1991b) avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados, utilizaram 100 e 200 kg ha^{-1} P_2O_5 de termofosfato em um Latossolo Vermelho escuro de textura média, como resultado não obtiveram variação no pH do solo. O efeito corretivo de materiais depende do poder tampão do solo e da quantidade utilizada de termofosfato. O efeito dos termofosfatos TM e TK sobre o pH do solo não foram mais significativos devido à elevada saturação por bases inicial dos solos.

A saturação por bases no solo BP não variou entre os tratamentos de acordo com a ANOVA ($\alpha=5\%$), foi, em média, 87%. Considera-se que foi alcançada a V% pretendida, similar a V% do solo MP. O fator fertilizantes não foi significativo no solo

MP, constatou-se ligeiro incremento linear da V% com o aumento das doses de P (Figura 1). Os fertilizantes utilizados possuíam Ca, K e/ou Mg em sua composição, portanto podem agregar esses nutrientes ao solo. Como o solo MP exibia valor inicial maior de Ca, Mg e K, podem ter permanecido no solo maiores quantidades desses nutrientes provenientes dos fertilizantes, ocasionando ligeiro aumento na soma de bases do solo e, portanto, na V%. Morelli et al. (1991) durante experimento sob cana-de-açúcar em areia quartzosa, obtiveram aumento na V% com uso do termofosfato, de 36% para 42% (200kg/ha) e 57% (400kg/ha). Pereira, Vitti e Korndorfer (2003) trabalhando com um Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa/média avaliaram fontes de silício, também verificaram aumentos na V% do solo com termofosfato. Obtiveram resultado semelhante Gava et al. (1997) com aplicação de termofosfato em solos arenoso e de textura média.

Figura 1 - Saturação por bases (V%) no solo MP em função da aplicação das doses dos fertilizantes



4.1.2 Teores de potássio, cálcio e magnésio nos solos

O teor de potássio no solo BP apresentou interação significativa entre fertilizantes e doses (valor de F = 12,4), o mesmo não ocorreu no solo MP, o fator doses não foi significativo ($\alpha=5\%$).

No tratamento TG constatou-se valor expressivo do teor de K, principalmente no solo BP. Este tratamento ocasionou os maiores valores do nutriente (Tabelas 3 e 4). O TG não inclui garantia de K em sua composição, em análise química apresentou

2% de K₂O total. O elevado valor do índice pode ser explicado pela menor absorção de K pelas plantas desse tratamento. Também o método utilizado para extrair K do solo, método da resina trocadora de íons, pode ter superestimado os teores de potássio.

Dentre os demais tratamentos, o TK proporcionou os menores teores de K nos solos, não diferindo estatisticamente dos demais fertilizantes. Esses resultados podem significar que o potássio fornecido pelo TK não é tão eficientemente disponibilizado no solo quanto o fornecido pelo cloreto de potássio (exclusiva fonte de K dos demais tratamentos). No entanto a análise estatística não nos encaminha para essa conclusão. Resultados obtidos por Júnior e Coutinho (2009) utilizando termofosfato potássico, KCl e combinação de 70% TK com 30% KCl demonstraram que os tratamentos não foram diferentes entre si para os teores de K no solo desde o primeiro ciclo de braquiária. Diferentes foram os resultados apontados por Eichler e Lopes (1983) em um solo argiloso com baixo teor de K, eles utilizaram um produto experimental obtido a partir de tratamento térmico de rocha potássica com calcário magnésiano. Cultivaram milho como planta teste. Num primeiro ciclo, o material liberou menos K que o KCl para o solo.

Tabela 3 – Potássio no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	K (mmol _c dm ⁻³)			
0	2,40	2,40	2,40	2,40
40	1,89ab	1,67b	2,27a	1,67b
80	1,30b	1,05b	2,65a	1,35b
120	0,89b	0,69b	2,76a	0,73b
Média	1,62b	1,45b	2,52a	1,54b
Ef. doses	L	L	L	L
CV (%)	14,35%			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Tabela 4 – Potássio no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes

Fertilizantes	K (mmol_c dm⁻³)
TG	4,12a
TM	3,84ab
ST	3,70ab
TK	3,30b
CV (%)	19,92

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

O potássio constituinte do TK é originado de rocha potássica com teor total de 14% de K_2O , entretanto de baixa solubilidade em água. Essas rochas juntamente com rochas fosfáticas passam pelo processo de fusão, sendo o produto resultante finamente moído. No entanto, o fornecimento de K do fertilizante produzido parece não ser tão eficiente quanto o fornecimento de fósforo para as plantas.

Observa-se, com exceção do TG, um decaimento de K no solo de forma linear à medida que há aumento das doses dos fertilizantes. Pode-se sugerir que devido o crescimento das plantas e da demanda por K, ocorreu decréscimo do cátion no solo.

Para o teor de Ca no solo, não houve interação significativa entre fertilizantes e doses em ambos os solos. Foi realizada calagem no solo BP, o que contribuiu para o incremento de Ca em geral naquele solo.

Todos os fertilizantes apresentam Ca em sua composição (média de TM= 19%, TG= 18%, TK= 15%, ST= 13%). O termofosfato grosso proporcionou o maior teor de Ca nos solos (Tabela 5), esse índice foi provavelmente superestimado pelo método de extração da resina, já que a característica granulométrica do TG, portanto sua solubilidade não condiz com os resultados obtidos. Resultado semelhante foi obtido por Büll et al. (1997) ao utilizarem termofosfato granular.

Dentre os demais fertilizantes, o TM ocasionou o maior teor de Ca nos dois solos, teores semelhantes foram encontrados com o uso dos demais fertilizantes (TK e ST). Esse aumento ocorreu devido à liberação do cálcio presente nos fertilizantes avaliados. O aumento de teor de Ca nos solos com o uso de TM e TK sustenta a elevada dissolução dos termofosfatos no solo, similar a dissolução que ocorre com o ST, fertilizante solúvel em água. Machado et al. (1983) trabalhando em um Planossolo

textura franco-arenosa com a cultura da soja, também obtiveram incremento na concentração de Ca no solo, tanto na ausência como na presença de calcário, utilizando fertilizantes fosfatados como o termofosfato e o ST. Morelli et al. (1991) durante experimento com cana-de-açúcar em areia quartzosa onde foi realizada calagem, obteve aumento na concentração de Ca no solo com o uso de termofosfato. Júnior et al. (2008) avaliou adubação fosfatada em milho, num Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa. Também encontraram aumentos significativos nos teores de Ca com uso do termofosfato. O solo, assim como no presente experimento, apresentava elevado teor de Ca inicial.

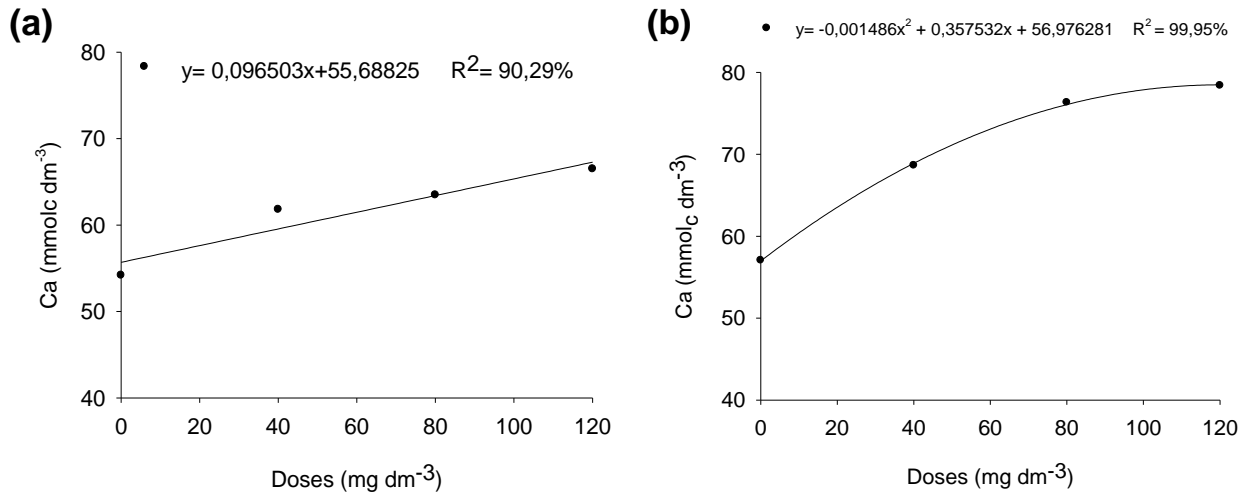
O aumento das doses dos fertilizantes aplicados elevou o teor de Ca no solo BP de forma linear, demonstrando que com o aumento das doses dos presentes fertilizantes há tendência de se elevar o teor de Ca. No solo MP esse aumento ocorreu de forma quadrática (Figura 2), ou seja, há tendência de estabilização do Ca nesse solo a partir da maior dose aplicada.

Tabela 5 – Teor de Ca no solo em função da aplicação dos fertilizantes

Fertilizantes	Ca (mmolc dm ⁻³)	
	Solo BP	Solo MP
TG	66.88a	75,70a
TM	60.44b	70,22ab
TK	60.03b	67,86b
ST	58.56b	66,64b
CV (%)	8,96	11,09

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Figura 2 - Teor de Ca no solo em função das doses dos fertilizantes aplicados



(a) Solo BP; (b) Solo MP

Quanto ao teor de Mg nos solos, houve interação significativa entre os fatores (valor de F: para o solo BP = 2,518; para o solo MP = 2,912). Inicialmente, o solo BP possuía 7 mmolc dm⁻³ de Mg. Foi realizada calagem para elevação da V%, o calcário utilizado possuía 9% de Mg, contribuindo para o incremento do nutriente nesse solo. Os fertilizantes TM, TG, TK e ST contêm 12, 8, 6 e 0,26% de Mg total, respectivamente.

O TG proporcionou aos solos os maiores teores de Mg, sendo, diversas vezes, semelhante aos adubos TM e TK, conforme a Tabela 6. No entanto, o valor dessa variável, que é determinado utilizando-se a resina de troca catiônica, pode ter sido superestimado para o tratamento TG, visto que as características de granulometria e solubilidade dessa fonte não condizem com a concentração de Mg obtida no solo. Resultado similar foi obtido por Büll et al. (1997) ao utilizarem termofosfato granular. Em relação aos demais fertilizantes o TM proporcionou os maiores teores de Mg. Em média o uso dos fertilizantes TM, TK e ST não ocasionaram diferentes teores de Mg nos solos.

No solo BP não foi significativo o incremento das doses de P sobre o teor de Mg para ST, TK e TM. No solo MP, o mesmo ocorreu para ST e TM (Figura 3). O nível de Mg já era considerado alto para culturas anuais (RAIJ, 1997) em ambos os solos. Coutinho et al. (1991b) trabalhando em solo também com teor inicial alto de Mg, não obtiveram aumentos significativos dos teores de Mg utilizando fontes fosfatas, dentre

elas o termofosfato. Morelli et al. (1991) durante experimento com termofosfato em areia quartzosa, sob cana-de-açúcar, não constataram aumento no teor de Mg no solo

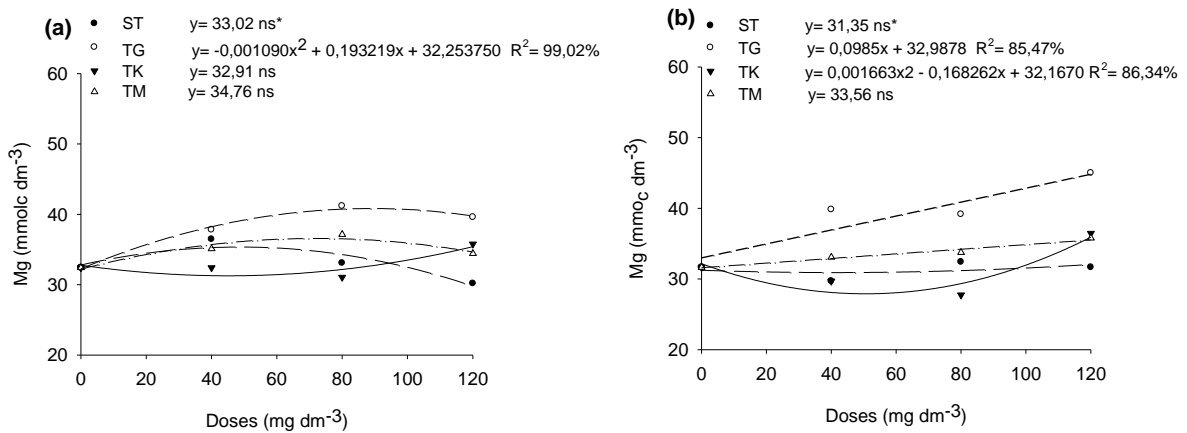
Tabela 6 - Teor de Mg no solo em função da aplicação das quatro doses dos fertilizantes fosfatados

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Mg (mmol _c dm ⁻³)			
Solo BP				
0	32,40	32,40	32,40	32,40
40	35,10 ns*	32,40 ns	37,80 ns	36,45 ns
80	37,13ab	31,05b	41,13a	33,08b
120	34,43ab	35,78ab	39,60a	30,17b
Média	34,76ab	32,91b	37,74a	33,92b
Ef. doses	ns	ns	Q	ns
CV (%)	9,47			
Solo MP				
0	31,63	31,63	31,63	31,63
40	33,08b	29,70b	39,83a	29,70b
80	33,75ab	27,74c	39,15a	32,40bc
120	35,78b	36,45b	45,00a	31,66b
Média	33,56b	31,38b	38,90a	31,35b
	ns	Q	L	ns
CV (%)	9,38			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$) *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

com a primeira dose (200kg/ha) de termofosfato, apenas com a segunda (400kg/ha). Pereira, Vitti e Korndorfer (2003) em estudo num Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa/média, utilizando fontes de silício, como o termofosfato, verificaram aumentos no teor de Mg no solo, porém não significativos.

Figura 3 - Teores de Mg no solo em função das doses dos fertilizantes fosfatados aplicados



(a) Solo BP; (b) Solo MP, *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$)

4.1.3 Teor de silício nos solos

Quanto ao teor de Si nos solos, houve interação significativa entre os fatores dose e fertilizante (valor de F: para o solo BP = 5,845; para o solo MP = 4,952). O extrator de silício no solo utilizado foi o cloreto de cálcio, um sal que extrai o Si "disponível" que se encontra principalmente na solução do solo, podendo extrair algumas formas pouco polimerizadas (KORNDÖRFER, PEREIRA e NOLLA, 2004). Dessa forma o incremento de silício no solo pode ser considerado indicador da solubilização dos termofosfatos. Pôde-se observar, portanto, maior dissolução de TK e TM no solo comparando-os ao termofosfato grosso (Tabela 7). O TG apresentou valores predominantemente inferiores aos demais termofosfatos, demonstrando baixa solubilidade no solo. O TK foi superior ao TM na liberação de Si no solo (doses 80 e 120 mg dm⁻³), provavelmente devido a sua maior concentração do elemento (TK: 14,8%; TM: 11,6% de Si).

Predominantemente, o tratamento TK, seguido do tratamento TM, ocasionaram os maiores teores em ambos os solos estudados. O incremento das doses dos fertilizantes ocasionou aumento de Si no solo BP. O ligeiro aumento de Si no tratamento ST pode ter sido ocasionado por impurezas no adubo. No solo MP houve incremento significativo apenas com o uso de TK e TM. Os teores de Si extraídos no solo aumentaram com a aplicação dos termofosfatos (TK e TM), indicando que os

fertilizantes contêm Si altamente disponível. Resultados similares foram encontrados por Korndorfer, Colombo e Leone (2000) trabalhando com doses de termofosfato magnésiano, num solo de elevado teor inicial de Si, notaram aumento da concentração de Si no solo em função do incremento das doses do fertilizante. Pereira et al. (2003) avaliaram fontes silicatadas como escórias, xisto e o termofosfato e concluíram que o TF é uma fonte eficiente de liberação de Si no solo.

Considerando o solo MP, pode-se observar alto teor natural de Si nesse solo. O que pode ocorrer devido constante cultivo de plantas e permanência de resíduos vegetais no solo (já que ali são colhidos basicamente grãos), sendo realizada intensa reciclagem de nutrientes, inclusive silício. Esta ciclagem ocorre de forma muito lenta na mata natural, não possibilitando o mesmo acúmulo de Si no solo. Também pode ocorrer em função da solubilização de Si de minerais primários e secundários com o uso intensivo de adubação, notadamente nitrogenada, que pela nitrificação concorre para elevar expressivamente a acidez do solo e intensificar o intemperismo desses minerais. Uma vez que, pelo histórico, não foi aplicado nenhum material silicatado nesta área.

Tabela 7 - Teor de Si no solo em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Si (mg kg ⁻¹)			
Solo BP				
0	3,02	3,02	3,02	3,02
40	4,35a	4,24a	2,54b	2,67b
80	4,32b	6,00a	3,25c	2,84c
120	4,91b	6,39a	4,50bc	3,84c
Média	4,15b	4,91a	3,32c	3,09c
Ef. doses	L	L	Q	Q
CV (%)	14,43			
Solo MP				
0	11,15	11,15	11,15	11,15
40	13,04ab	13,94a	11,40b	12,17ab
80	14,15b	17,57a	10,75c	11,75c
120	14,90a	16,15a	12,13b	11,70b
Média	13,31b	14,70a	11,35c	11,69c
Ef. doses	L	Q	ns*	ns
CV (%)	9,50			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$) TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

4.1.4 Teor de fósforo lábil nos solos

Houve alterações nos teores de P lábil com aplicação das doses dos fertilizantes (Tabela 8). Em ambos os solos observou-se aumento do teor de P conforme incremento das doses, sendo a interação entre fertilizantes e doses significativa (Valor de F: para o solo BP = 49,774; solo MP = 210,381).

Observa-se no tratamento TG incremento expressivo no teor de P nos solos, a característica granulométrica de TG e, portanto, sua solubilidade não condizem com os resultados obtidos. O método da resina trocadora de ânions (RTA) pode ter superestimado os teores de fósforo, o choque das esferas utilizadas no processo

analítico do P com RTA pode forçar a desintegração das partículas grosseiras do adubo ainda presentes no solo.

Dentre as demais fontes, em ambos os solos, a aplicação do TM ocasionou a maior disponibilidade de P nos solos. O teor de P no solo proporcionado por ST foi menor, ou seja, a reserva de P ocasionada por esse fertilizante pode ser inferior. O P disponibilizado por ST pode ter sido mais fortemente retido pelo solo, trata-se de um solo argiloso, ou seja, há elevado poder tampão de P. Ainda, o ST não tem a vantagem da dinâmica que pode ocorrer entre os silicatos e os fosfatos na adsorção às partículas do solo, onde o Si pode ocasionar aumento da disponibilidade de P no solo pela troca de ligantes. Observa-se que há tendência de que o ST apresente menor efeito residual para os próximos cultivos. A forma mais fiel de avaliar a disponibilidade de P e efeito residual desses fertilizantes seria a prática de mais cultivos nesses solos. De acordo com os dados da Tabela 8, para o solo BP, observa-se que a concentração de P no solo no tratamento TM atingiu o teor considerado médio para culturas anuais (RAIJ, 1997) com a aplicação de 40 mg dm^{-3} de P. Para o TK tem-se esse valor atingido com a dose de 80 mg dm^{-3} , e para ST apenas com a dose de 120 mg dm^{-3} . Ou seja, observa-se que, ao final do experimento, os solos tratados com TM e TK são os que, provavelmente, oferecerão melhores condições para o desenvolvimento dos próximos cultivos.

Em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, com baixo teor inicial de P, o TF, ST e FG (fosfato de gafsa) proporcionaram concentrações de P semelhantes no solo cultivado com soja (COUTINHO et al., 1991a). Em experimento com as mesmas características e a cultura do milho, observou-se maior teor médio de fósforo no solo com uso do termofosfato, no entanto, não diferindo do ST (COUTINHO et al., 1991b)

Utilizando-se o termofosfato, ST e FG em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, leiri et al. (2010) constataram que o termofosfato proporcionou maior teor médio de fósforo no solo não diferindo do superfosfato triplo. No entanto, Araújo et al. (2003), cultivaram milho num solo argiloso, com baixa disponibilidade inicial de P, e encontraram maiores teores de P no solo nos tratamentos com termofosfato que os com ST. Ao cultivar cana-de-açúcar fertilizada com termofosfato em solo arenoso (2 mg dm^{-3} de P), Morelli et al. (1991) obtiveram expressivo aumento na concentração de P no solo, para 19 mg dm^{-3} (dose de 200kg/ha) e 40 mg dm^{-3} (dose de 400kg/ha),

ou seja, aumento de quase 10 vezes com a primeira dose e de 20 vezes com a segunda, comparando-se ao teor inicial de P no solo.

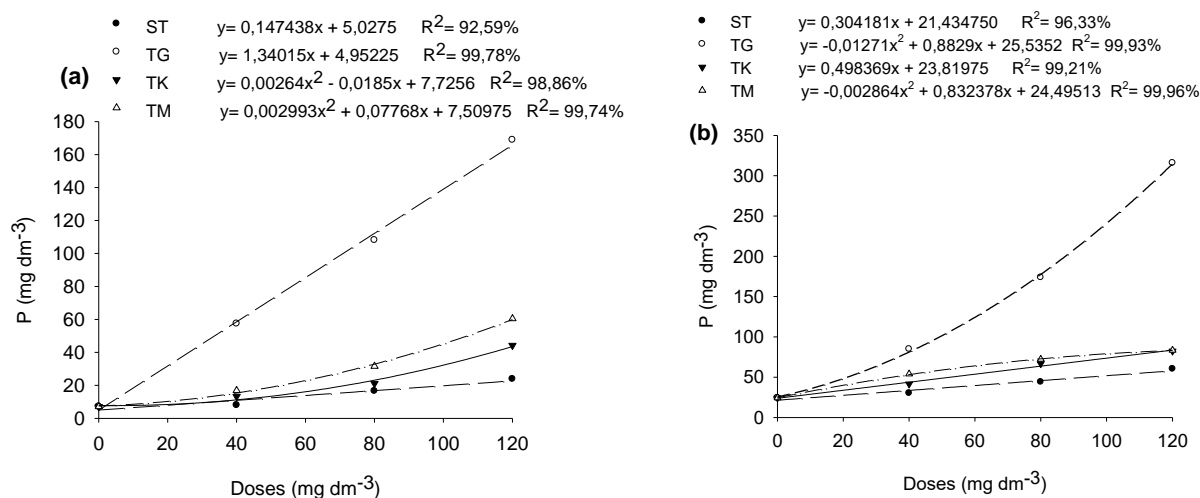
Tabela 8 - Teores de P nos solos em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	P resina (mg dm ⁻³)			
Solo BP				
0	7,05	7,05	7,05	7,05
40	16,78b	13,23b	57,43a	8,02b
80	31,50b	21,13bc	108,11a	15,56c
120	60,38b	44,21c	168,85a	23,87d
Média	28,93b	21,40c	85,36a	13,87d
CV (%)	21,05			
Solo MP				
0	24,29	24,29	24,29	24,29
40	53,84b	41,55bc	84,94a	30,23c
80	72,12b	66,70b	173,77a	43,96c
120	83,34b	82,35b	315,78a	60,27c
Média	58,40b	53,72b	149,69a	39,69c
CV (%)	9,67			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Os resultados de P resina mostraram que todas as fontes, exceto TG, foram eficientes no incremento do teor de P, tanto no solo com médio quanto no solo com baixo teor de P inicial, sendo equivalentes ou superiores ao fertilizante padrão ST. No solo BP, com o aumento das doses de P, observou-se incremento linear significativo do elemento para as fontes ST e TG e efeito quadrático com a aplicação das doses de TK e TM (Figura 4), todas as curvas demonstrando que ainda há possibilidade de resposta ao incremento de doses de P. No solo MP o incremento de P no solo ocorreu de forma linear para ST e TK, exibindo tendência de aumento de P no solo no caso de incremento das doses. A regressão foi quadrática para TG e TM, mostrando um possível início de estabilização no fornecimento de P por TM.

Figura 4 - Teor de P nos solos em função da aplicação das doses dos fertilizantes



(a) Solo BP; (b) Solo MP

4.2 Atributos das plantas de milho

Analisou-se a interação entre os fertilizantes e as doses de fósforo para as seguintes variáveis da parte aérea das plantas: teor e acúmulo de P, correlação P extraído do solo e acúmulo de P na planta, teor e acúmulo de K, correlação K extraído do solo e acúmulo de K na planta, teor e acúmulo de Ca e Mg, teor e acúmulo de Si, correlação Si extraído do solo e acúmulo de Si na planta, altura e diâmetro de caule, massa de MS. Foram obtidos os índices de eficiência agrônômica dos fertilizantes para produção de MS e acúmulo de P na planta.

4.2.1 Teor e acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas

O teor de P na matéria seca da parte aérea não apresentou efeito da interação entre fontes e doses de P. No solo BP, o teor de P foi superior com o uso do TM. Mas os termofosfatos TM, TG e TK não diferiram estatisticamente entre si, e o teor mais baixo foi encontrado em ST (Tabela 9). Em experimento com soja, também num solo com baixo P inicial, Coutinho et al. (1991a) encontraram maiores teores de P nas folhas das plantas com o uso do termofosfato que com o uso de ST, no entanto essa diferença não foi estatisticamente significativa. Analisando um Latossolo Roxo e uma

Terra Roxa Estruturada adubados com termofosfato e cultivados com arroz, Baldeón (1995) também obteve resultado similar utilizando a dose de 100 mg/kg de P, no entanto, similarmente ao presente experimento, o TM foi superior ao ST nas demais doses (50 e 200 mg/kg). Araújo et al. (2003), trabalhando num solo argiloso, com baixa disponibilidade de P, também encontrou maior concentração de P na parte aérea de plantas de milho com aplicação de termofosfato que com o ST.

Ainda no solo BP, TG proporcionou a segunda maior concentração de P no tecido vegetal. Esse termofosfato apresenta granulometria grosseira o que provavelmente caracterizou baixa solubilidade no solo. Essas características acarretaram crescimento significativamente inferior das plantas, comparado aos demais tratamentos. Devido a esse pouco acúmulo de biomassa, uma baixa absorção de P já proporcionou concentração relativamente alta de P na planta.

No solo MP, o TM e TK proporcionaram as maiores concentrações de P (Tabela 9), no entanto o fator fertilizantes não foi significativo ($\alpha=5\%$). Ou seja, no solo MP, estatisticamente, não houve diferença entre os fertilizantes quanto a concentração de P obtida nas plantas.

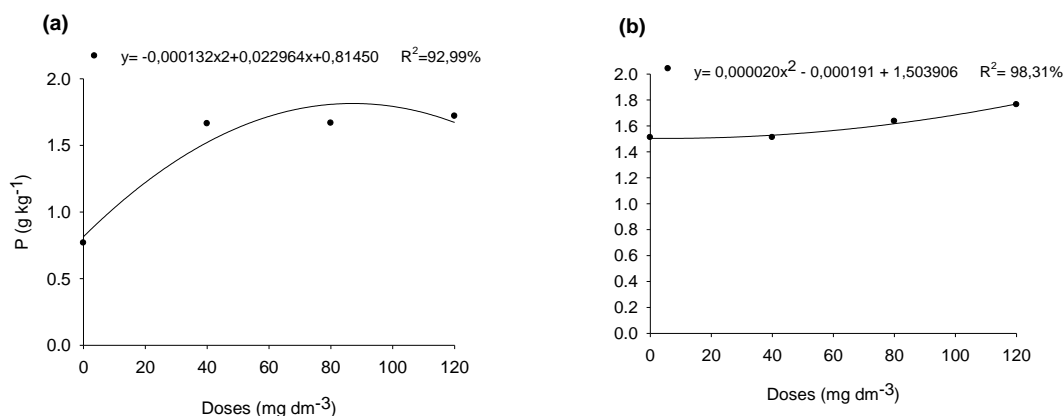
A aplicação das doses de P dos fertilizantes incrementou o teor do elemento na parte aérea das plantas de forma quadrática. No solo BP nota-se acentuado crescimento da concentração de P na planta já na menor dose dos fertilizantes, e posterior tendência à estabilização (Figura 5). Resultado semelhante foi obtido por Defelipo et al. (1978) num solo com baixo P inicial, onde o teor de P nas plantas de sorgo aumentou de forma quadrática com o incremento das doses do TF. Morelli et al. (1991) durante experimento com cana-de-açúcar em solo com baixo teor de P inicial, também apontaram aumento no teor de P nas folhas das plantas com o uso do termofosfato. Assim como Nakayama et al. (1998) em experimento num solo com baixo teor de P, também observaram incremento de P em plantas de arroz com o aumento da dose do termofosfato. As respostas obtidas no solo MP sugerem tendência moderada de resposta ao aumento de dose, ocorrendo dessa forma pois esse solo já possuía médio teor de P. No solo BP houve estabilização do P em concentração próxima a $1,7 \text{ g kg}^{-1}$, no solo MP o valor de concentração máximo de P na planta foi similar (Figura 5).

Tabela 9 - Concentração de P na parte aérea da planta em função da aplicação dos fertilizantes

Fertilizantes	P (g kg ⁻¹)	
	Solo BP	Solo MP ns*
TM	1,51a	1,63
TG	1,49a	1,59
TK	1,47a	1,63
ST	1,35b	1,56
CV (%)	6,94	6,70

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$) *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Figura 5 - Concentração de P na planta em função das doses dos fertilizantes.



(a) Solo BP; (b) Solo MP

Quanto ao acúmulo de P na matéria seca das plantas, houve interação entre doses e fertilizantes (valor de F: para o solo BP = 58,761; solo MP = 13,526). Em ambos os solos ocorreu aumento significativo da variável com a aplicação dos fertilizantes. Em média, o TM proporcionou o maior acúmulo, os fertilizantes TM, TK e ST foram similares (Tabela 10). Portanto, pode-se considerar a eficiência no fornecimento de P entre esses fertilizantes similar, independente da concentração inicial de P no solo estudado. Resultados diferentes foram obtidos por Leiri et al. (2010), num solo de textura média com baixo P, onde desde a menor dose dos fertilizantes houve diferenças significativas entre as fontes, o superfosfato triplo proporcionou acúmulo

superior de fósforo nas plantas de braquiária. Já Büll et al. (1997) avaliaram o termofosfato "Yoorin Master" em pó e granular e o termofosfato "MG-Yoorin" em pó, tendo o ST como referência. Similarmente ao presente experimento, num solo com baixo P, o termofosfato magnésiano proporcionou o maior acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas, e o termofosfato de maior granulometria, o menor. Também foram encontrados por Baldeón (1995) acúmulos similares de P em plantas de arroz entre os fertilizantes TM e ST.

Tabela 10 - Quantidade de P acumulado nas plantas em função da aplicação de doses dos fertilizantes

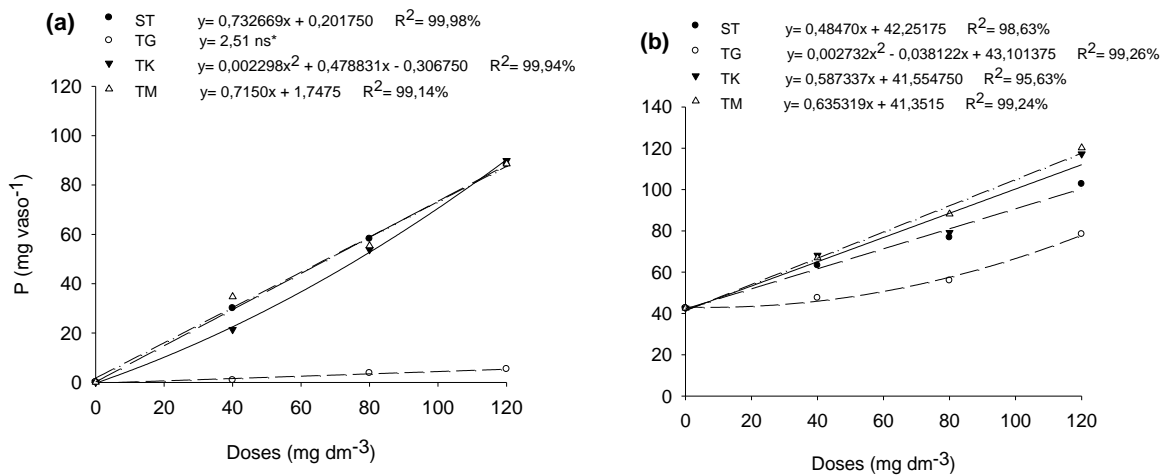
Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	P (mg/vaso)			
	Solo BP			
0	0,068	0,068	0,068	0,068
40	34,67a	21,40b	0,86c	30,04ab
80	55,35a	53,83a	3,76b	58,16a
120	88,51a	89,87a	5,39b	88,39a
Média	44,65a	41,29a	2,52b	44,16a
CV (%)	14,16			
	Solo MP			
0	42,58	42,58	42,58	42,58
40	66,95a	68,21a	47,53b	63,28ab
80	88,14a	79,16a	55,96b	76,78a
120	120,22a	117,24ab	78,40c	102,70b
Média	79,47a	76,80a	56,12b	71,33a
CV (%)	12,41			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$); TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

As regressões polinomiais mostraram que, mesmo num solo com baixo fósforo, com exceção do TG, as fontes ocasionaram semelhantes comportamentos de acúmulo de P nas plantas. Houve resposta ao aumento nas doses segundo equações

quadráticas e lineares, sempre com tendência ao aumento do acúmulo com possível incremento de doses (Figura 6).

Figura 6 - Fósforo acumulado na parte aérea das plantas em função das doses de P



(a) Solo BP; (b) Solo MP, *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$)

4.2.2 Correlação P extraído do solo e acúmulo de P na planta

O tratamento TG exibiu incremento expressivo no teor de P nos solos, o maior dentre os fertilizantes. Porém o índice é irreal, o acúmulo de P nas plantas desse tratamento foi o menor, podendo-se inferir que essa disponibilidade do fertilizante ocorreu durante o processo de análise do solo. O choque das esferas utilizadas na extração de P com RTA pode forçar a desintegração das partículas grosseiras do adubo ainda presentes no solo, que não haviam sido solubilizadas anteriormente, elevando-se a concentração de P naquele momento. Büll et al. (1997) avaliaram o termofosfato "Yoorin Master" em pó e granular, e a disponibilidade de P resina no solo também não se relacionou com a produção e o P absorvido para o termofosfato granular.

Em ambos os solos, o TM proporcionou o maior teor de P (excetuando-se TG), seguido dos fertilizantes TK e ST, que foram inferiores. O teor refletiu no acúmulo de P nas plantas. Em média, o TM também proporcionou o maior acúmulo, no entanto, os fertilizantes TM, TK e ST ocasionaram acúmulos similares. Pode-se inferir que, a quantidade de P disponibilizada pelos três fertilizantes foi suficiente para suprir a

necessidade de P das plantas, sendo que o maior resíduo de P disponível no solo parece ter sido proporcionado por TM.

4.2.3 Teor e acúmulo de K nas plantas

O fertilizante TK, além de P, também é fonte de potássio. Possui garantia de 4% K₂O solúvel em ácido cítrico 2%. Por isso, a quantidade de K fornecida pelo TK foi considerada ao realizar-se a adubação potássica. Através da parte da adubação potássica originária do termofosfato é possível ter indícios da eficiência do fertilizante como fonte de K.

No solo BP, conforme o aumento das doses de TK, maior foi a queda da concentração de K nas plantas, maior que nos demais tratamentos (Tabela 11). Conforme o aumento das doses do fertilizante, maior a proporção de K fornecido origina-se do TK. Portanto presume-se que o fertilizante não possui eficiência similar ao do KCl no fornecimento de K à cultura.

Houve interação significativa entre os fertilizantes e as doses quanto a concentração de K na parte aérea das plantas, nos solos BP e MP (valor de F: para o solo BP = 8,236; solo MP = 3,030). Sendo que o TG proporcionou as maiores concentrações do nutriente. Nesse tratamento as plantas não alcançaram biomassa tão expressiva quanto nos demais, havendo maior concentração o elemento em sua estrutura.

Excetuando-se TG, no solo com baixo P inicial, o maior índice, em média, foi alcançado pelo TM, seguido por TK e ST, que não diferiram entre si. No solo MP não houve diferença entre essas fontes. Júnior e Coutinho (2009) realizaram experimento com cultivo de braquiária, utilizando termofosfato potássico, KCl e combinação de 70% TK com 30% KCl, demonstraram que os tratamentos não foram diferentes entre si para os teores de K na parte aérea das plantas. Outro estudo que comparou fontes de K insolúveis em água, tratadas termicamente, com KCl também confirma essa relação de similaridade entre os fertilizantes para o teor de K na planta, Neptune et al. (1980) realizaram experimento num Latossolo vermelho escuro textura média, com quatro amostras de silicato de potássio tratadas hidrotermicamente, provenientes do

Planalto de Poços de Caldas - MG. Constataram que o teor de K nas plantas de arroz não apresentou diferença significativa entre as fontes avaliadas e o KCl.

Tabela 11 - Concentração de K no tecido vegetal em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
K (g kg ⁻¹)				
Solo BP				
0	15,05	15,05	15,05	15,05
40	38,83ab	41,25a	37,67ab	35,43b
80	36,65a	30,60b	38,80a	30,58b
120	32,2b	25,68c	41,70a	29,15bc
Média	30,68b	28,14c	33,31a	27,55c
Ef. doses	Q	Q	Q	Q
CV (%)	8,84			
Solo MP				
0	43,20	43,20	43,20	43,20
40	39,18ab	38,38ab	40,88a	34,58b
80	34,05b	35,83b	42,05a	38,28ab
120	31,90b	33,80b	41,45a	35,65b
Média	37,08b	37,80b	41,89a	37,92b
Ef. doses	L	L	ns*	Q
CV (%)	7,10			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésico; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

O Potássio acumulado nas plantas apresentou interação significativa dos fertilizantes com doses no solo BP (valor de $F = 37,778$), o que não ocorreu no solo MP. O TG ocasionou o menor acúmulo de K nos solos (Tabelas 12 e 13), devido ao baixo acúmulo de biomassa nesse tratamento. No solo BP, em média, TM e ST

propiciaram os maiores acúmulos, ou seja, onde o fertilizante mineral KCl foi usado de forma integral como fonte de K.

Observando as regressões no solo BP, com exceção de TG, conforme o aumento das doses dos fertilizantes fosfatados maior o crescimento das plantas e maior o acúmulo de K. O fator doses não foi significativo para TG (Figura 7), a solubilidade do produto, em curto prazo, é baixa, inviável para aplicação visando cultura de rápido crescimento. São necessários novos cultivos para avaliação da disponibilidade de nutrientes pela fonte. Também no gráfico da regressão é possível visualizar o menor acúmulo de K exercido por TK perante ST e TM. Diferentemente do encontrado nesse experimento, Neptune et al. (1980) em experimento com amostras de silicato de potássio tratadas hidrotermicamente, apontaram que o acúmulo de K nas plantas de arroz não apresentou diferença significativa entre as fontes avaliadas e o KCl. Já Faquin et al. (1987) trabalharam com rocha potássica calcinada com calcário magnesiano, num solo com baixo teor de K, apontaram que no primeiro cultivo de milho o material obtido ocasionou menor acúmulo de K nas plantas que o KCl. De maneira similar Eichler e Lopes (1983) no primeiro ciclo de milho, obtiveram com KCl expressivamente maior acúmulo de K na parte aérea das plantas que com os materiais avaliados (produtos experimentais obtidos a partir de tratamento térmico de rocha potássica com calcário magnesiano), os autores sugeriram um consumo de luxo, já que, para a produção de MS, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Já no solo MP os fertilizantes TM, TK e ST proporcionaram os maiores acúmulos de K, respectivamente, sendo similares (Tabela 13). Esse solo apresentava fertilidade construída, alto teor de potássio ($3,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), dessa forma a resposta à parcial adubação potássica com TK não foi tão aparente.

Tabela 12 - Quantidade de K acumulado na parte aérea do milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	K (mg vaso ⁻¹)			
0	1,36	1,36	1,36	1,36
40	800,67a	513,75b	19,58c	687,40ab
80	1162,90a	1024,20a	82,56b	1170,75a
120	1562,15a	1297,00b	132,98c	1644,20a
Média	881,77a	709,08b	59,12c	875,93a
CV (%)	15,57			

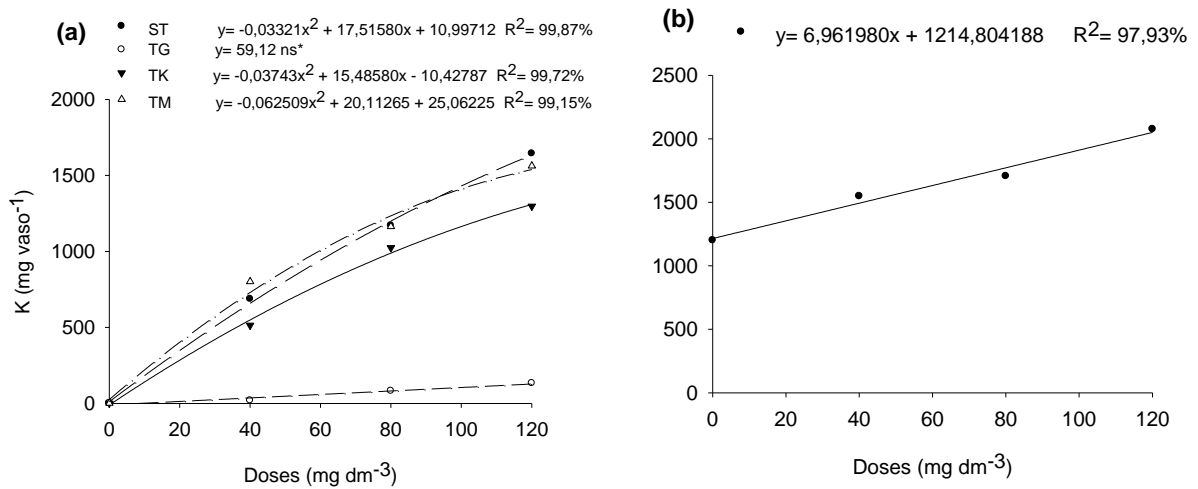
Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Tabela 13 - Potássio acumulado na parte aérea do milho no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes

Fertilizantes	K (mg vaso ⁻¹)
TM	1712,75a
TK	1698,74a
ST	1666,39a
TG	1452,21b
CV (%)	11,53

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Figura 7 - Potássio acumulado na parte aérea do milho em função dos fertilizantes aplicados



(a) Solo BP; (b) Solo MP

4.2.4 Correlação K extraído do solo e acúmulo de K na planta

O tratamento TG resultou num teor expressivo de K nos solos, principalmente no solo BP. O que não refletiu no acúmulo de K pelas plantas de milho. Pode-se inferir que o teor obtido nos solos é em razão do crescimento inferior das plantas e baixa absorção do nutriente. O acúmulo de K, abaixo dos demais tratamentos, em ambos os solos, exibe esta condição.

O tratamento TK ocasionou os menores teores K nos solos, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (exceto TG). No entanto, no solo BP, fica evidenciado o menor acúmulo, em média, proporcionado por TK perante os demais fertilizantes (exceto TG). Esses resultados apontam para menor eficiência de TK frente ao fertilizante KCl, utilizado como fonte integral de K nos demais tratamentos. No solo MP não foi possível observar diferença expressiva entre os fertilizantes, já que esse solo possuía elevado teor de K.

Os demais tratamentos, TM e ST, obtiveram teor semelhante de K nos solos, da mesma forma para o acúmulo de K na parte aérea das plantas, a correlação foi proporcional.

6.2.5 Teor e acúmulo de Ca e Mg e nas plantas

Em ambos os solos não houve interação significativa entre os fertilizantes e as doses para a concentração de cálcio na parte aérea das plantas. No solo BP, o fertilizante TG promoveu a maior concentração. Esse fato se deve ao pouco acúmulo de biomassa no tratamento, dessa forma, mesmo com baixa absorção, alcança-se concentração relativamente alta de Ca na planta. Os demais fertilizantes levaram a teores similares de cálcio (Tabela 14), corroborando os resultados encontrados por Büll et al. (1997) que encontraram valores de concentração foliar de Ca, em plantas de alface tratadas com TF, similares aos de ST. No caso do solo BP, houve a aplicação de calcário, o que deve ter possibilitado às plantas uma maior absorção de Ca nesse solo, comparando-o ao MP, o que pode ser bem visualizado, mesmo sem análise estatística, na tabela 14. No solo MP não houve diferença entre os fertilizantes para a concentração de Ca, pelo teste de médias. Devemos considerar que no início do experimento ambos os solos possuíam alto teor de Ca, o que não favorecerá diferenciação dentre os fertilizantes para essa variável.

Tabela 14 - Concentração de Ca no tecido vegetal em função da aplicação dos fertilizantes

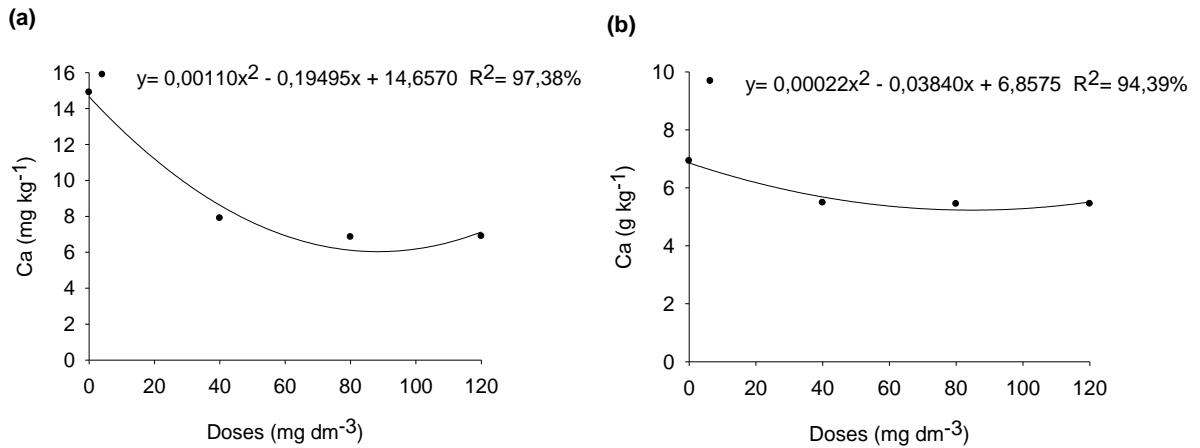
Fertilizantes	Ca (g kg ⁻¹)	Fertilizantes	Ca (g kg ⁻¹)
	Solo BP		Solo MP
TG	10,46a	TG	6,28a
TM	8,88b	ST	5,68a
TK	8,88b	TM	5,68a
ST	8,31b	TK	5,66a
CV (%)	11,61		11,87

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Avaliando as regressões há diminuição da concentração de Ca a partir da dose zero (Figura 8), nessas plantas houve hiperconcentração do nutriente devido a menor biomassa das plantas encontradas na testemunha. Posteriormente houve tendência de estabilização do Ca na planta, demonstrando que a quantidade de Ca

disponibilizada nos solos era satisfatória para o cultivo, considerando, ainda, que mesmo no início do experimento ambos os solos possuíam alto teor de Ca.

Figura 8 - Concentração de Ca na parte aérea das plantas em função das doses dos fertilizantes



(a) Solo BP; (b) Solo MP

A quantidade de cálcio acumulada nas unidades experimentais em ambos os solos reflete o Ca presente nos solos. O TM proporcionou o maior acúmulo do nutriente, mas os fertilizantes não diferiram entre si para o acúmulo de Ca nas plantas, com exceção do TG (Tabelas 15 e 16). Houve interação significativa entre os fatores estudados apenas no solo BP (valor de $F = 26,573$)

Tabela 15 - Quantidade de Ca acumulado nas plantas de milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Ca (mg vaso⁻¹)			
0	1,35	1,35	1,35	1,35
40	145,8a	97,8b	4,8c	134,5ab
80	221,2a	204,9a	16,7b	222,2a
120	316,8a	336,3a	28,42b	313,9a
Média	171,3a	160,1a	12,8b	168,0a
Ef. doses	L	L	ns*	L
CV (%)	19,24			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

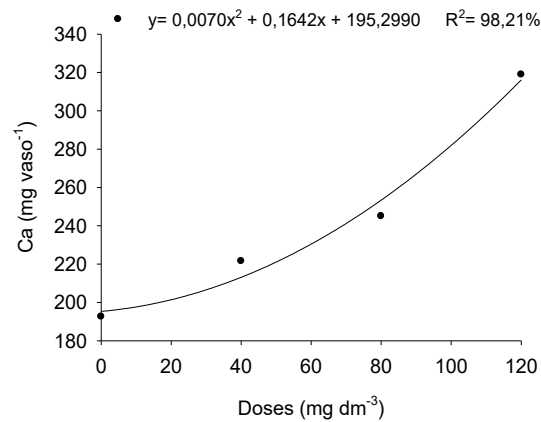
Tabela 16 - Ca acumulado nas plantas de milho no solo MP em função da aplicação dos fertilizantes

Fertilizantes	Ca (mg vaso ⁻¹)
TM	260,5a
TK	253,4a
ST	248,7a
TG	215,2b
CV (%)	12,30

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

No solo BP, com o aumento das doses, o acúmulo de Ca foi linear para TM, TK e ST. No solo MP não houve interação entre fertilizantes e doses. O acúmulo ocorreu de forma quadrática com o aumento das doses dos fertilizantes nesse solo (Figura 9), pode-se visualizar em ambos os solos tendência de resposta ao aumento das doses dos fertilizantes para o incremento de acúmulo de Ca nas plantas.

Figura 9 - Ca acumulado nas plantas de milho no solo MP em função das doses dos fertilizantes



Para o teor de Mg na parte aérea das plantas, houve interação significativa entre os fertilizantes e as doses no solo BP (valor de $F = 2,290$). Os termofosfatos proporcionaram, predominantemente, os maiores teores de Mg, sendo similares entre si (Tabela 17). Provavelmente deve-se esse fato a presença de Mg nos termofosfatos e portanto possibilidade de maior absorção pelas plantas desse nutriente. Gava et al. (1997) obtiveram resultado semelhante com a aplicação de TF, tendo o superfosfato simples (SFS) como referência, no crescimento inicial de eucalipto. Defelipo et al. (1978) observaram maior efeito positivo para o Mg absorvido pelas plantas de sorgo com aplicação do TF, comparando-o ao SFS. Para o tratamento TG acredita-se que a concentração de Mg alcançada pode ser atribuída a menor biomassa das plantas, havendo maior concentração do nutriente nos tecidos.

Já no solo MP não houve diferença significativa entre ST, TM e TK para a concentração de Mg nas plantas. Nesse caso provavelmente a maior parte do nutriente originou-se do Mg pré-existente no solo, não favorecendo diferenças entre os fertilizantes. Apenas o TG apresentou valor superior aos demais fertilizantes (Tabela 18), sendo provável que esse valor, novamente, seja devido a menor biomassa das plantas no tratamento, possibilitando maior concentração do nutriente dentro da planta. De acordo com a análise de regressão há uma diminuição da concentração de Mg e posterior tendência de estabilização (Figura 10), demonstrando que a quantidade de Mg disponibilizada para as plantas é satisfatória.

Tabela 17 - Magnésio no tecido vegetal de parte aérea em função da aplicação de doses dos fertilizantes fosfatados no solo BP

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Mg (g kg ⁻¹)			
0	8,25	8,25	8,25	8,25
40	7,15ns	7,78ns	7,65ns	6,53ns
80	6,78ab	7,33a	8,02a	5,78b
120	8,05a	9,03a	8,00a	6,23b
Média	7,56a	8,09a	7,98a	6,69b
Ef. doses	Q	Q	ns*	Q
CV (%)	9,91			

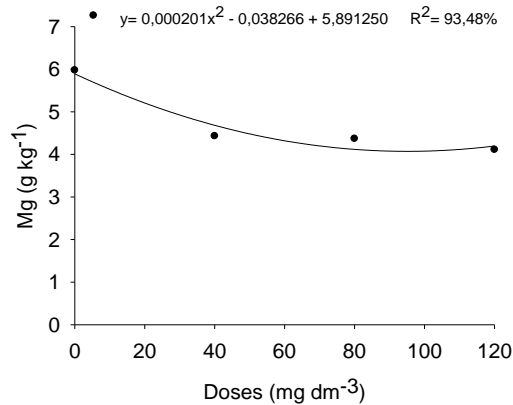
Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$) *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Tabela 18 - Magnésio no tecido vegetal de parte aérea em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP

Fertilizantes	Mg (g kg ⁻¹)
TG	5,29a
ST	4,64b
TM	4,51b
TK	4,45b
CV (%)	16,50

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Figura 10 - Teor de Mg na parte aérea das plantas em função das doses dos fertilizantes fosfatados no solo MP



Para o magnésio acumulado, no solo BP, houve interação entre os fatores estudados (valor de $F = 37,346$). O TK proporcionou, em média, o maior acúmulo, seguido pelo TM e ST sendo similares. O TG apresentou acúmulo expressivamente inferior, inferindo-se também dessa forma sua baixa solubilidade.

Tabela 19 - Quantidade de Mg acumulado nas plantas de milho no solo BP em função da aplicação de doses dos fertilizantes

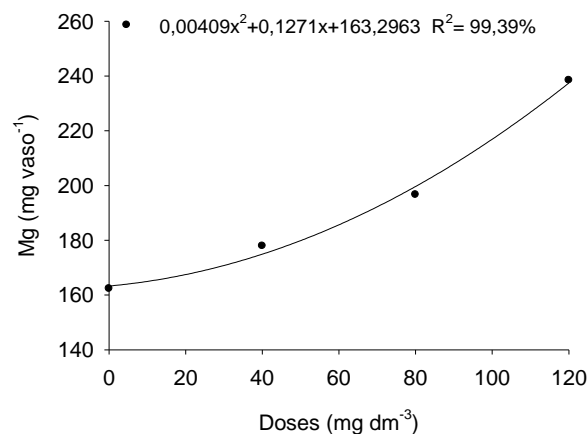
Doses (mg dm^{-3})	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Mg (mg vaso^{-1})			
0	0,7	0,7	0,7	0,7
40	146,6a	96,0a	3,0b	128,9a
80	215,9a	245,1a	16,4b	221,6a
120	390,8b	457,7a	26,1c	350,3b
Média	188,5a	199,8a	11,8b	175,3a
Ef. doses	L	Q	ns*	L
CV (%)	18,92			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$), *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha = 5\%$), TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo.

Houve incremento linear para TM e ST e quadrático para TK com o aumento das doses dos fertilizantes, conforme a tabela 19, demonstrando tendência de resposta ao aumento das doses para o acúmulo de Mg nas plantas.

No solo MP, o fator fertilizantes não foi significativo. Descritivamente o TG acumulou uma média de 179,4; TK 194,8; ST 198,5; e TM 202 mg de Mg por vaso, os fertilizantes acumularam em média 193,8 mg de Mg. Com o incremento das doses dos fertilizantes, houve aumento de forma quadrática no Mg acumulado nas plantas (Figura 11)

Figura 11 - Mg acumulado na parte aérea das plantas de milho com o uso dos fertilizantes, no solo MP



4.2.6 Teor e acúmulo de silício nas plantas

Quanto a concentração de silício na parte aérea das plantas, não houve interação significativa entre os fatores estudados. O TK proporcionou as maiores concentrações (Tabela 20), o fertilizante possui o maior teor de Si (14,8%).

Observa-se num solo com baixo teor inicial de Si (solo BP), que TG e ST foram semelhantes e ocasionaram os menores resultados de concentração de Si. Era esperado esse resultado para ST, já que esse não é fonte de Si, assim como para TG, devido sua baixa solubilidade na solução do solo, disponibilizando teores inferiores de Si para as plantas. Os tratamentos TK e TM foram semelhantes, demonstrando que os fertilizantes são fontes efetivas de silício. De forma similar, Pereira et al. (2003) em

dois experimentos com fontes silicatadas notaram aumento na concentração de Si em plantas de tomate com uso do termofosfato.

Já no solo MP, a resposta à adubação com termofosfatos não foi tão expressiva, devido ao elevado teor de Si preexistente no solo, que pôde proporcionar grande parte do elemento encontrado na planta. Por essa razão, os tratamentos ST e TG não diferiram estatisticamente de TM quanto a concentração de Si na planta. O fertilizante TK, por sua maior concentração em Si, alcançou a maior média da variável e diferiu de ST.

A presença de elevada concentração natural de Si no solo MP pode ocorrer em função do constante cultivo de plantas e permanência de resíduos vegetais no solo (já que ali são colhidos basicamente grãos), sendo realizada intensa reciclagem de nutrientes, inclusive silício. Esta ciclagem ocorre de forma muito lenta na mata natural, não possibilitando o mesmo acúmulo de Si no solo. Também pode ocorrer em função da solubilização de Si de minerais primários e secundários com o uso intensivo de adubação, notadamente nitrogenada, que pela nitrificação concorre para elevar expressivamente a acidez do solo e intensificar o intemperismo desses minerais. Uma vez que, pelo histórico, não foi aplicado nenhum material silicatado nesta área.

Tabela 20 - Concentração de Si na parte aérea das plantas em função da aplicação dos fertilizantes

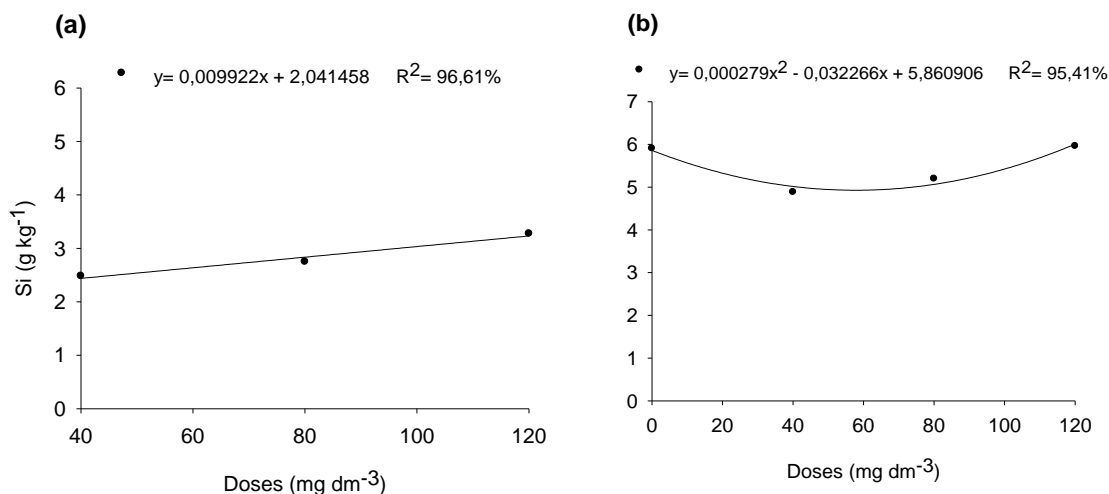
Fertilizantes	Si (g kg ⁻¹)	Fertilizantes	Si (g kg ⁻¹)
Solo BP		Solo MP	
TK	3,21a	TK	6,03a
TM	3,19a	TG	5,48ab
TG	2,52b	TM	5,44ab
ST	2,42b	ST	4,99b
CV (%)	14,37		18,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Observa-se incremento linear do teor de Si nas plantas com o aumento das doses no solo BP (Figura 12). No solo MP há um provável efeito de diluição do silício dentro da planta, com o aumento da biomassa (doses 40 e 80 mg dm⁻³), e maior concentração

foi alcançada quando a dose mais elevada (120 mg dm⁻³) foi aplicada. Esse efeito gerado pelas doses se ajustou numa equação quadrática. Analisando-se a dose 0 e a dose 120 mg dm⁻³ pode-se concluir que a concentração de Si na planta variou ligeiramente em função do incremento de Si no solo. Korndorfer, Colombo e Leone (2000) em experimento com doses de termofosfato, num solo de elevado teor inicial de Si, também não obtiveram aumento significativo da concentração de Si nas folhas de cana-de-açúcar em função do incremento das doses do fertilizante.

Figura 12 - Concentração de Si na parte aérea das plantas com aplicação das doses dos fertilizantes



(a) Solo BP; (b) Solo MP

Quanto ao silício acumulado no tecido vegetal, no solo BP houve interação entre os fatores avaliados (valor de $F = 8,653$), e devido ao crescimento não significativo das plantas, não houve material vegetal suficiente da testemunha para realização dessa análise química.

No solo BP, apesar da maior concentração de Si na planta alcançada por TM e TK, ao avaliar-se o acúmulo do elemento, os fertilizantes TM, TK e ST (nas doses de 40 e 80 mg dm⁻³) não diferiram entre si, já na maior dose (120 mg dm⁻³), TM e TK alcançaram superioridade. Com a análise da massa de MS dos tratamentos, que será realizada adiante, o valor de acúmulo Si atingido por ST será melhor compreendido. TG ocasionou o menor acúmulo.

No solo MP, a interação dos fatores não foi significativa. Em razão do elevado teor de silício encontrado naturalmente nesse solo, os tratamentos não exibiram diferenças demasiadamente expressivas entre si quanto ao acúmulo do elemento. O acúmulo de Si nas plantas foi maior com o uso de TK e TM (Tabela 22). TG e ST proporcionaram os menores acúmulos. ST não diferiu estatisticamente de TM.

O incremento das doses dos fertilizantes ocasionou aumento de silício acumulado nos tecidos vegetais, de forma linear no solo BP, excluindo TG, o qual não apresentou significância relativo esse fator. No solo MP o acúmulo ocorreu de forma quadrática para os fertilizantes (Figura 13). Em ambos os solos demonstra-se tendência de resposta das plantas ao aumento de doses dos fertilizantes.

Tabela 21 - Silício acumulado no tecido vegetal em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Si (mg vaso ⁻¹)			
40	59,09a	35,65ab	0,97b	46,16a
80	99,20a	103,63a	4,79b	95,20a
120	178,06a	185,64a	10,73c	137,95b
Média	112,11a	108,31a	5,50b	93,10a
Ef. doses	L	L	ns*	L
CV (%)	26,09			

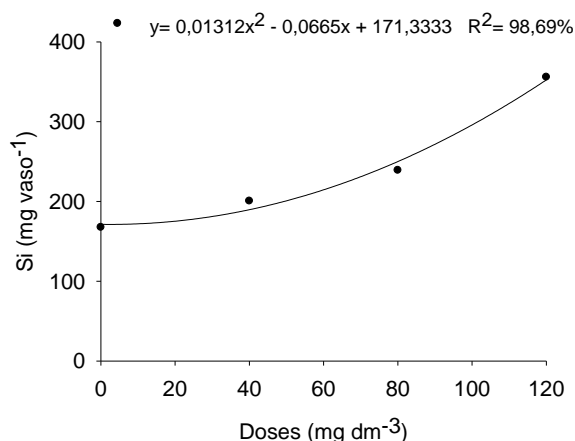
Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), *ns: não significativo pela ANOVA ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Tabela 22 - Silício acumulado no tecido vegetal em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP

Fertilizantes	Si (mg vaso ⁻¹)
TK	284,95a
TM	260,86ab
ST	222,11bc
TG	195,38c
CV (%)	25,42

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Figura 13 - Si acumulado no tecido vegetal em função das doses dos fertilizantes aplicados no solo MP



4.2.7 Correlação Si extraído do solo e acúmulo de Si na planta

Predominantemente o tratamento TK, seguido do tratamento TM, ocasionaram os maiores teores de Si em ambos os solos. Isso refletiu de forma coerente nas plantas. No solo BP, o acúmulo de Si nos tecidos vegetais foi superior para TK. Apenas na dose de 40 mg dm⁻³ TM acumulou mais silício que TK. Ainda que, em todas as doses, foram estatisticamente similares. No solo MP, o tratamento TK também proporcionou os maiores acúmulos do Si pelas plantas, não diferindo estatisticamente de TM.

Com o uso do ST, os teores de Si no solo BP foram os menores, similares a TG. No entanto o acúmulo do elemento na planta foi relativamente elevado, sendo similar a TM e TK nas doses de 40 e 80, e inferior na dose 120 mg dm⁻³. Provavelmente o

silício inicialmente presente no solo foi capaz de provocar esse acúmulo. A planta não acumulou significativamente mais silício em seus tecidos, nas doses de 40 e 80, porque havia maior disponibilidade do elemento nos solos com termofosfatos (TM e TK). Com a análise da massa de MS dos tratamentos, que será realizada adiante, o valor de acúmulo Si atingido pelo ST será melhor compreendido.

No solo MP, TK seguido de TM proporcionaram os maiores teores e Si no solo. ST foi em média inferior a esses termofosfatos e similar a TG. O acúmulo de Si nas plantas ocorreu da mesma forma. Observa-se que também nesse solo maior parte do ânion acumulado nas plantas deve-se ao Si encontrado no solo originalmente.

4.2.8 Altura e diâmetro de caule das plantas

Houve interação significativa entre os fatores para a altura das plantas no solo BP (valor de $F = 20,435$). O ST possibilitou as maiores alturas de planta não diferindo estatisticamente do TM para as doses 40 e 80 mg dm^{-3} e do TK para as doses 80 e 120 mg dm^{-3} (Tabela 23). O TG levou a alturas inferiores.

No solo MP não houve interação significativa entre os fatores, as maiores alturas de planta foram proporcionadas pelo TM, seguido pelo TK e ST (Tabela 24). Esses fertilizantes foram estatisticamente semelhantes. O TG alcançou maior altura, sendo similar ao ST. Principalmente devido ao P previamente existente no solo, o tratamento TG alcançou valor de altura relevante.

Tabela 23 - Altura das plantas de milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Altura (cm)			
0	1,95	1,95	1,95	1,95
40	43,45ab	34,75b	9,65c	48,95a
80	59,25a	66,00a	17,80b	67,45a
120	71,00b	78,40ab	17,25c	86,50a
Média	43,91b	45,28b	11,66c	51,21a
CV (%)	15,92			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

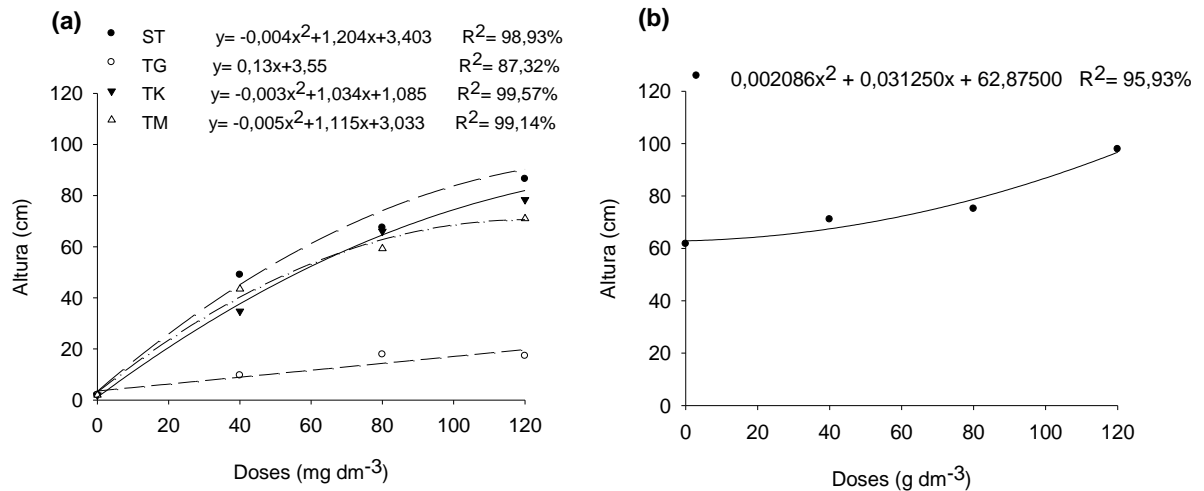
Tabela 24 - Altura das plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP

Fertilizantes	Altura (cm)
TM	81,51a
TK	78,62a
ST	78,09ab
TG	67,51b
CV (%)	15,34

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

O aumento da altura das plantas ocorreu consoante o incremento das doses. No solo BP as regressões foram quadráticas, exibindo tendência de estabilização da variável com o aumento de doses, exceto para TG, que foi linear. No solo MP, os fertilizantes no geral ocasionaram aumento de ordem quadrática (Figura 14) exibindo tendência de resposta com aumento de doses. No caso desse experimento, que se encontra em vasos, não seria comportada uma dose superior dos fertilizantes nesse solo, devido à demasiada altura das plantas, ao final do experimento era eminente o risco de quebra das plantas.

Figura 14 - Altura das plantas de milho em função das doses dos fertilizantes aplicados



(a) Solo BP; (b) Solo MP

No solo BP houve interação significativa entre os fertilizantes e as doses para o diâmetro do caule das plantas (valor de $F = 2,356$). Os fertilizantes TM, TK e ST ocasionaram diâmetros similares (Tabela 25). O TG levou a diâmetros menores.

Para o solo MP não houve interação entre os fatores. O fator fertilizantes foi significativo, porém pelo teste de médias utilizado, não houve diferença entre os fertilizantes (Tabela 26). Com a elevação das doses o efeito sobre o aumento dos diâmetros foi quadrático no solo BP, e linear para o solo MP (Figura 15). Mostrando tendência de estabilização da variável no solo BP e crescimento no solo MP com o incremento de doses.

Tabela 25 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes no solo BP

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	Diâmetro (mm)			
0	1,72	1,72	1,72	1,72
40	7,96a	7,75ab	6,15b	7,73ab
80	8,73a	8,79a	5,55b	8,71a
120	9,57a	9,95a	7,68b	9,98a
Média	7,00a	7,05a	5,27b	7,03a
CV (%)	13,40			

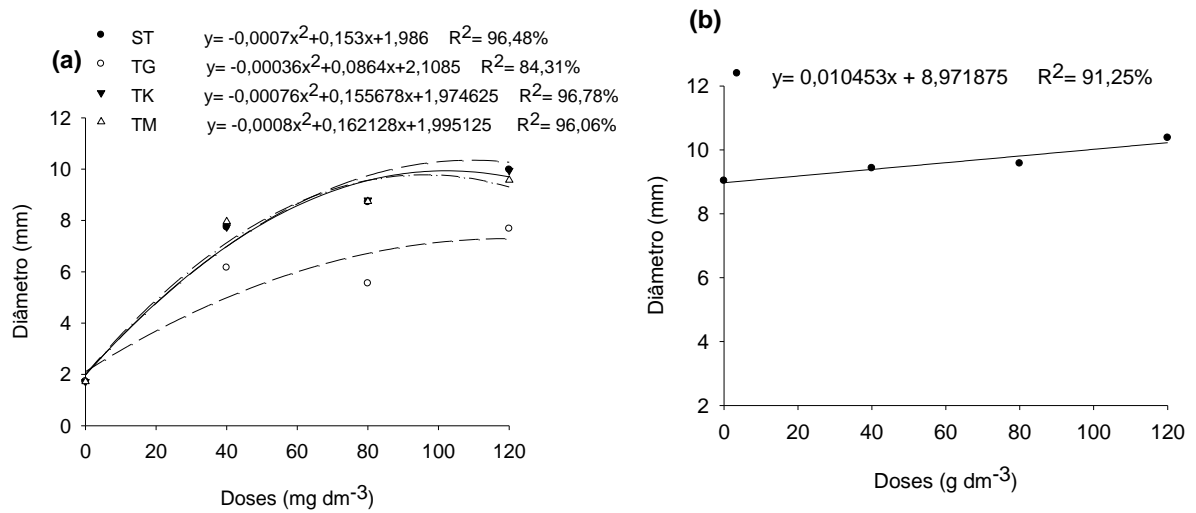
Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnésico; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Tabela 26 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função da aplicação dos fertilizantes no solo MP

Fertilizantes	Diâmetro (mm)
TK	9,79a
ST	9,75a
TM	9,62a
TG	9,24a
CV (%)	7,81

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$), TM: termofosfato magnésico; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

Figura 15 - Diâmetro de caule das plantas de milho em função das doses dos fertilizantes fosfatados



(a) Solo BP; (b) Solo MP

4.2.9 Massa de matéria seca da parte aérea

Houve interação significativa entre os fertilizantes e as doses utilizadas para a massa de matéria seca (MS) de parte aérea das plantas (valor de F: para o solo BP = 49,738; para o solo MP = 3,914). No solo com baixo teor de P inicial, o crescimento das plantas de milho sem a aplicação de fonte fosfatada foi ínfimo, o que pode ser ilustrado pela Figura 16, a massa de MS foi menor que 0,1g, altura menor que dois centímetros (Tabela 23). Apesar de o milho ser uma planta adaptada a ambientes menos favoráveis de crescimento, há necessidade de mínima concentração de P no solo para desenvolvimento significativo da planta.

Figura 16 - Exemplar de uma testemunha do solo BP (à esquerda), e do solo MP (à direita). Solo BP: solo com baixo teor de P inicial; solo MP: solo com médio teor de P inicial.



Quando houve aplicação de 40 mg dm^{-3} de P, a maior média de massa de MS foi alcançada pelo TM, seguido pelo ST, não havendo diferença estatística entre eles (Tabela 27). A aplicação da dose de 80 mg dm^{-3} de P propiciou maior valor para ST, seguido por TK, não havendo diferença estatística entre eles. Na dose de 120 mg dm^{-3} de P a maior média de massa foi obtida com ST, sendo superior aos termofosfatos. Ou seja, em média, no solo deficiente em P, os termofosfatos possibilitaram produção de matéria das plantas próxima, mas ainda abaixo, da produção do ST. Diferentemente desses resultados leiri et al. (2010), utilizando doses de 100 kg ha^{-1} e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , constatou que o termofosfato magnésiano e o superfosfato triplo não diferiram entre si quanto à produtividade de MS de braquiária. Assim também ocorreu em *Andropogon gayanus* Kunth. (COUTO, LEITE e KORNELIUS, 1985), em Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado, o termofosfato magnésiano e o ST

não diferiram entre si na produtividade de MS da parte aérea. Para Nakayama et al. (1998) a produção de MS das plantas de arroz foi menor com o uso do TF, no entanto não diferiu estatisticamente do SFS. No entanto, Franco (2003) obtiveram resultados similares ao encontrado no presente experimento, utilizando TF em cultivo de capim-tifton 85 num solo com baixo teor inicial de P, corrigido com calcário, no qual a fonte padrão (ST) foi superior aos TF para produção de MS.

Relativo ao acúmulo de silício nas plantas: a maior produção média de MS ocorrida no tratamento ST participou para que ele fosse estatisticamente similar a TM e TK no acúmulo de Si na planta (solo BP – Tabela 21), já que o valor de MS é coeficiente no cálculo do valor de acúmulo. Já no tratamento TG o acúmulo de Si foi expressivamente inferior, devido à massa de MS de TG ter sido também notadamente inferior aos demais tratamentos.

Utilizando o termofosfato "Yoorin Master" em pó e granular e o termofosfato "MG-Yoorin" em pó, Büll et al. (1997) concluíram que as produções de MS de alface proporcionados pelos termofosfatos em pó num primeiro momento foram inferiores às do superfosfato triplo, no entanto equivaleram-se estatisticamente e foram superiores àqueles obtidos com a forma granular de termofosfato. Com o uso do termofosfato granular foram obtidos resultados similares por Brasil (1994), Guerrini et al. (1994), Kaminski et al. (1992), Stefanutti (1991), Almeida (1998) e Franco (2003). No entanto, Moreira et al. (1997) não obtiveram diferenças significativas entre os termofosfatos de diferentes granulometria na produção de massa seca de arroz, e que os TF foram inferiores ao padrão (ST). Ao analisar o presente estudo conjuntamente com os citados depreende-se em sua maioria que a granulometria do termofosfato é característica de suma importância. O produto granulado, ou com granulometria grosseira, tem sua eficiência altamente prejudicada em razão da menor solubilidade do fertilizante.

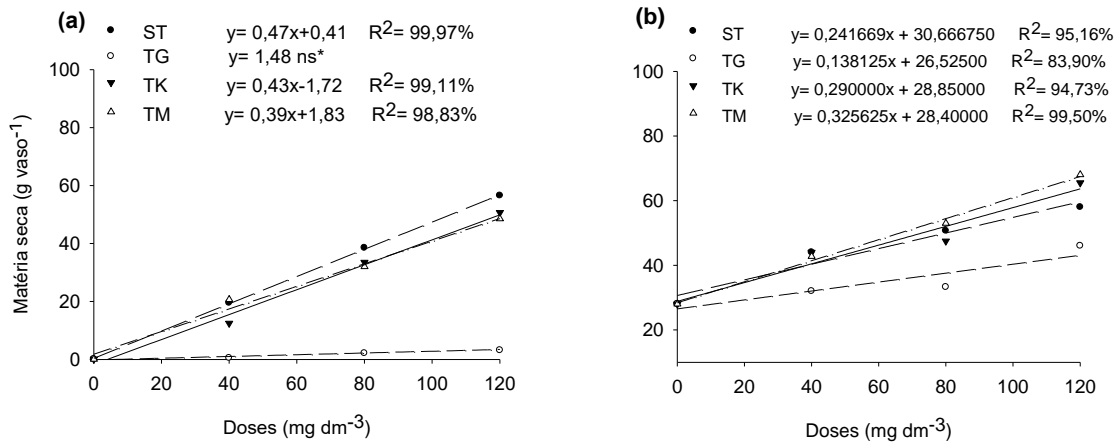
No solo com médio teor inicial de P os fertilizantes TM e TK proporcionaram os maiores valores de massa das plantas, sendo o ST semelhante aos termofosfatos. Na dose de 120 mg dm^{-3} de P o TM proporcionou maior MS que o ST. Isto é, nesse solo o cultivo do milho respondeu melhor em produção de MS à adubação com os termofosfatos. O incremento das doses aumentou a matéria seca linearmente (Figura 17), portanto infere-se que haveria resposta das plantas ao incremento de doses dos fertilizantes com aumento de produção da MS. Nesse solo a regressão para TG foi

significativa. Pela inclinação da reta observa-se uma resposta sútil ao aumento de doses do fertilizante, mas ainda, significativa. Um estudo mais prolongado com esse fertilizante é necessário para avaliar efeitos de longo prazo.

Relativo ao termofosfato potássico como fonte de K, pode-se inferir, quanto a MS, que a adubação potássica parcial com TK (tratamento TK) foi tão eficiente quanto a com KCl completa (tratamento TM). Pode-se comparar o presente estudo com o estudo realizado por Eichler e Lopes (1983), eles utilizaram um produto experimental obtido a partir de tratamento térmico de rocha potássica com calcário magnesiano. Semearam milho em um solo argiloso com baixo teor de K. Num primeiro ciclo, o material proporcionou maior MS da parte aérea das plantas que o KCl. Com material semelhante Faquin et al. (1987) num experimento em casa de vegetação, com um podzólico vermelho-amarelo sob cerrado, nunca cultivado (baixo teor de K), constataram que no primeiro cultivo de milho o material avaliado permitiu produção cerca de 9% maior de MS que o KCl. Já Neptune et al. (1980) em experimento com amostras de silicato de potássio tratadas hidrotermicamente, apontaram que a massa de MS das plantas de arroz não apresentou diferença significativa entre as fontes avaliadas e o KCl. Semelhante aos resultados obtidos por Júnior e Coutinho (2009) utilizando termofosfato potássico, KCl e a combinação de 70% TK com 30% KCl num solo de textura média e baixo teor inicial de K, demonstraram que os tratamentos não foram diferentes entre si para a massa de MS de parte aérea nos dois ciclos de braquiária.

Claramente há diferenças básicas dentre os experimentos citados e o presente experimento. Nesse trabalho equalizou-se o K fornecido entre os tratamentos, avaliando-se qual seria a resposta da adubação potássica parcial originária de TK no respectivo tratamento. No solo BP, comparando a adubação potássica dos tratamentos TK e TM, respectivamente, tem-se: TK (com 4,3% do K fornecido) + KCl (com 96,7% do K fornecido) foi equivalente a KCl (100%) de TM, para a produção de MS de parte aérea. Mas, comparando a adubação potássica do tratamento TK a do tratamento ST, temos: TK (com 4,3% do K fornecido) + KCl (com 96,7% do K fornecido) foi inferior a KCl (100%) de ST, para a produção de MS de parte aérea. Ou seja, o fator que delimitou as diferenças entre as adubações potássicas, para a MS, foi a eficiência dos fertilizantes como fonte fosfatada.

Figura 17 – Matéria seca da parte aérea em função das doses dos fertilizantes



(a) Solo BP; (b) Solo MP; *ns: não significativo pelo Teste F ($\alpha=5\%$)

Tabela 27 - Massa de matéria seca da parte aérea do milho em função da aplicação de doses dos fertilizantes

Doses (mg dm ⁻³)	Fontes			
	TM	TK	TG	ST
	g/vaso			
	Solo BP			
0	0,09	0,09	0,09	0,09
40	20,67a	12,50b	0,52c	19,50a
80	32,00b	33,50ab	2,12c	38,50a
120	48,50b	50,67b	3,19c	56,50a
Média	25,31b	24,19b	1,48c	28,65a
CV (%)	15,26			
	Solo MP			
0	28,00	28,00	28,00	28,00
40	42,75a	44,00a	32,00b	44,00a
80	53,00a	47,50a	33,25b	50,67a
120	68,00a	65,50ab	46,00c	58,00b
Média	47,94a	46,25a	34,81b	45,17a
CV (%)	11,16			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

4.2.10 Índices de eficiência agrônômica (IEA)

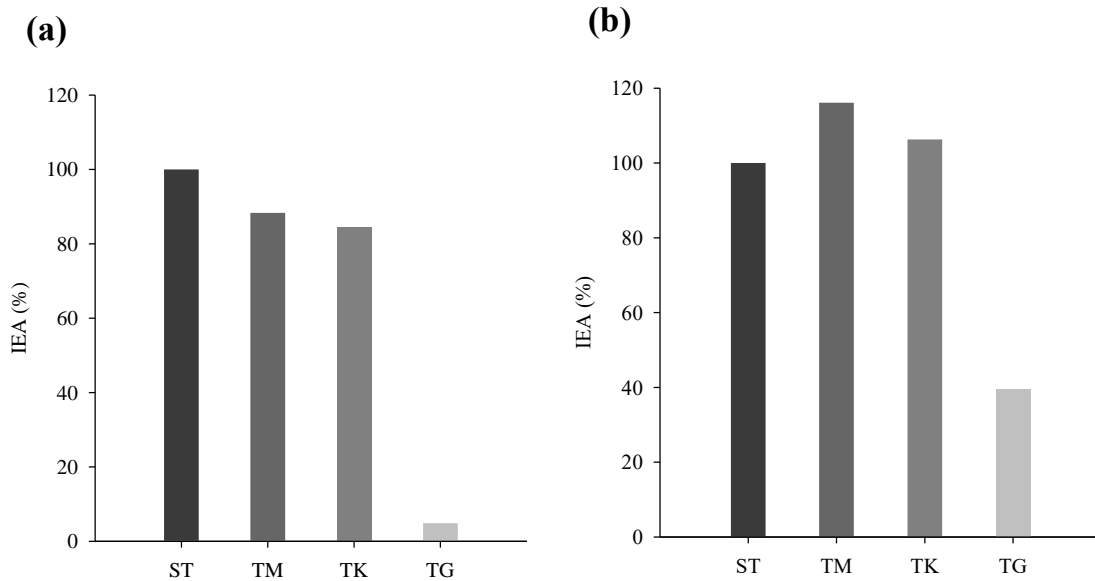
4.2.10.1 IEA na produção de matéria seca da parte aérea

Ao considerar o solo BP, sendo analisada a média entre as doses, a eficiência no acúmulo de matéria seca nas plantas de milho foi menor para TM comparando-se com ST (Figura 18). O fertilizante apresentou IEA de 88,3%, o maior entre os termofosfatos, seguido de TK. As formas de TF em pó mostraram-se com eficiência próxima a ST. No entanto, com o aumento do tamanho das partículas verifica-se grande redução da eficiência para o TF, esses resultados confirmam os encontrados por Stefanuti (1991), Kaminski et al. (1992), Rheinheimer (1992), Brasil (1994) e Büll et al. (1997).

No solo com médio teor de fósforo inicial o TM e o TK foram superiores ao ST, com IEA de 116,1% e 106,3%, respectivamente. Ou seja, infere-se que a presença de maior teor de P no solo favorece a eficiência dos termofosfatos.

Num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, Goedert e Lobato (1980) avaliaram produção de grãos, num primeiro cultivo (trigo) obtiveram IEA de 95% para o termofosfato, tendo o ST como referência. Nakayama et al. (1998) num solo com baixo P inicial, obtiveram IEA de 98% (50 mg dm^{-3} de P) e 82% (150 mg dm^{-3} de P) com uso do termofosfato. Franco (2003) também observou IEA inferiores com o uso do TF, relativo ao ST (84, 89, 72 e 70% para as doses de 30, 60, 90 e 120 mg kg^{-1}) em cultivo de tifton.

Figura 18 - IEA quanto à produção de matéria seca da parte aérea do milho



(a) Solo BP; (b) Solo MP. TM: termofosfato magnesiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

4.2.10.2 IEA no acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas

Quanto ao acúmulo de P na parte aérea das plantas, o TM foi o mais eficiente, foram obtidos IEA de 101,1% e 128,3% no solo BP e MP, respectivamente. Considerando o termofosfato potássico, no solo BP, alcançou índice muito próximo ao de TM e ST, ainda sendo inferior a esses (Figura 19). No solo MP, TM também foi o fertilizante mais eficiente, seguido de TK e ST.

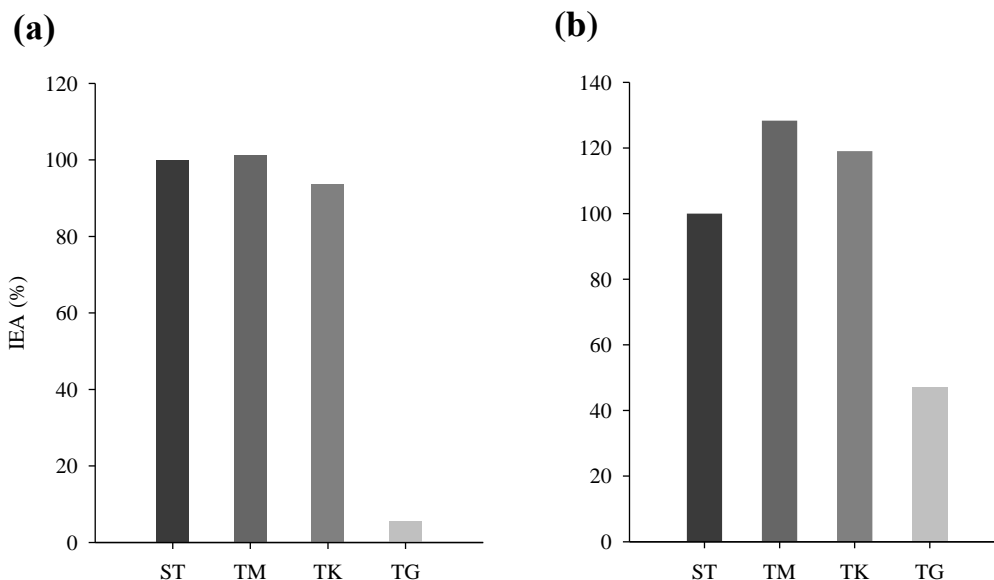
O fertilizante TG através dos índices obtidos demonstrou baixa dissolução no período experimental, independente do solo utilizado. Nesse caso, é necessário mais cultivos para avaliar o desempenho desse fertilizante ao longo do tempo.

Em média de três locais com experimento de milho, Miranda et al. (1970) observaram, tendo-se o SFS como referência, que o termofosfato apresentou IEA de 127% para produtividade de grãos. Machado et al. (1983) obtiveram produtividade superior da cultura da soja, na ausência de calcário, para os tratamentos com Escória de Thomas (ET) e termofosfato. No tratamento com calagem as fontes ST, SFS, FG, ET e TF Yoorin tiveram eficiência semelhante.

Em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, a eficiência agrônômica do termofosfato em duas safras de soja foi de 90 e 91%, no 1º e 2º ano, respectivamente (COUTINHO et al., 1991a). No entanto, para a cultura do milho, Coutinho et al. (1991b), em experimento de mesmas características, constataram índices de eficiência para o termofosfato de 106 e 103%, no 1º e 2º ano, respectivamente. Demonstrando que a eficiência agrônômica da adubação fosfatada também é altamente dependente da espécie extratora (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Avaliando o termofosfato "Yoorin Master" em pó e granular e o termofosfato "MG-Yoorin" em pó, tendo como referência o ST, Büll et al. (1997) obtiveram que o termofosfato magnésiano proporcionou o maior acúmulo de fósforo na parte aérea em plantas de alface. Para o P retirado do solo durante 8 anos por diversos cultivos, portanto refletindo na quantidade de P acumulada/exportada, Goedert e Lobato (1984) observaram que o termofosfato apresentou, frente ao ST, IEA de 92% (88 kg/ha de P) e 110% (350 kg/ha de P).

Figura 19 - IEA quanto ao acúmulo de P na parte aérea do milho



(a) Solo BP; (b) Solo MP. TM: termofosfato magnésiano; TK: termofosfato potássico; TG: termofosfato grosso; ST: superfosfato triplo

5 CONCLUSÕES

O termofosfato com granulometria grosseira tem sua eficiência altamente prejudicada em razão de sua menor solubilidade.

A adubação potássica TK+KCl, em solo com baixo teor inicial de K, tem menor eficiência que a adubação integral com KCl.

As respostas dos termofosfatos, para o acúmulo de P pela planta e produção de MS, variam em função da concentração inicial do P no solo. Os termofosfatos são mais eficientes quando esse nível é previamente adequado.

O IEA dos termofosfatos TM e TK é inferior ao padrão (ST) num solo com baixo teor de P, e superior ao padrão num solo com adequado teor de P.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, B. L.; HAJEK, B. F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 199-278.
- ALMEIDA, N. C. S. **Avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para o *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça**. 1998
44f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Agronomia) – FCAV, UNESP, Jaboticabal, 1998.
- ARAÚJO, I. B. et al. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, p. 27-40, 2003.
- ARNON D. I.; STOUT P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 371, 1939.
- BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e do silício na eficiência do termofosfato magnesiano em solos ácidos**. 92 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- BLANCO, F. F. **Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006
36 p.
- BRASIL, E. C. **Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados**. Piracicaba. 160p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/SDA/CGAL, 2014.
220 p.
- BÜLL et al. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agronômica. **Bragantia**, Campinas, v. 56 n.1, p.169-179, 1997
- CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em latossolo vermelho-escuro e cambissolo cultivados com mudas de eucalipto**. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- CHAVES, A. P. Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: **Agrominerais para o Brasil**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
380 p.

COUTINHO, E. L. M. et al. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1393-1399, 1991.

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

COUTO, W.; LEITE, G.G.; KORNELIUS, E. The residual effect of phosphorus and lime on the performance of four tropical grasses in a high P fixing Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, n.4, p.539, 1985.

EICHLER, V.; LOPES, A.S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, v.7, n.2, p.136-146, 1983.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. **Studies in Plant Science**, v. 8, p. 1-15, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Inorganic components of plants. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**, 2 ed. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. 2005 p. 44-45.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

DEFELIPO, B. V.; BORGES, R. E.; MENDONÇA, B. M. Adubos fosfatados na correção da acidez do solo. **Seiva**, Viçosa, v.38, p.41-50, 1978.

FAQUIN, V.; KINJO, T.; MALAVOLTA, E. Efeito do tratamento térmico da mistura de sienito nefelínico com calcário dolomítico na disponibilidade de potássio ao milho, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 221-228, 1987.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura, 1987. 420 p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR software**. Versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FILGUEIRAS, O. **Silício na agricultura**. Pesquisa FAPESP, n. 140, p. 72-74, 2007.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: **Limitations to plant root growth**. Springer New York, 1992. p. 97-149.

FRANCO, H. C. J. **Avaliação agrônômica de fontes e doses de fósforo para o capim-tifton 85**. 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003

GATIBONI, C. L. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247f. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia/Biodinâmica dos Solos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003

GAVA, J. L. et al. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 497-504, 1997.

GOEDERT, W. J., LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF. v. 15 n. 3, p. 311-318. 1980.

GOEDERT, W. J., LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista brasileira de ciência do Solo**, v. 8, p. 97-102. 1984.

GUERRINI, I. A. et al. Efeito de fontes de fósforo sobre o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Resumos**. Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994, p.10-11.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, p. 177-191, 1972.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptakes by plants. **Australian Journal of Soil Research**, Camberra, v. 35, n. 2, p. 227-239, 1997

IEIRI, A. Y. et al. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com Brachiaria. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1154-1160, 2010.

JÚNIOR, V. O.; COUTINHO, E. L. M. Effectiveness of fused magnesium potassium phosphate for marandu grass. **Revista brasileira de ciência do Solo**, v. 33, p. 1855-1862, 2009

JÚNIOR, V.O. et al. Adubação fosfatada corretiva para a cultura do Milho. **Nucleus**, v. 5, n. 2, p. 307-318, out. 2008.

KAMINSKI, J. et al. Avaliação da eficiência agrônômica de termofosfato magnesiano em função da granulometria. II. Leguminosas forrageiras. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1992, Piracicaba. **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p.250-251.

KAMINSKI J.; PERUZZO G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 1997 - Boletim Técnico no.3, 31p.

KORNDÖRFER G. H. **Uso de silício na agricultura**. IPNI, Informações agronômicas nº 117 – mar. 2007.

KORNDÖRFER, G. H. et al. **Silício: Um elemento benéfico e importante para as plantas**. IPNI, Informações agronômicas nº 134, jun. 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA. H. S.; NOLLA. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, Boletim Técnico, 2, 2004, 34 p.

KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO C. A.; LEONE P. L. C. **Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar** Revista STAB, Piracicaba/SP. v.19, n.1, p.34-36. 2000

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. **Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz**. Informações Agronômicas, nº 89, p.1-8, 2000

MA, J. F. Silicon. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. 2. ed. Boca Raton, Fl: Taylor & Francis, 2015. Cap. 20. p. 681-693.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2, 2001, Amsterdam. **Anais**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.17-39.

MACHADO, M. O., VIANNA, A. C. T., CASALINHO, H. D. Calcário e fontes e doses de fósforo: influência no rendimento da soja e na química do solo pelotas (alfissolo). **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 18, n. 7, p. 721-727, 1983.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p.

MELO, B. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MIRANDA et al. Adubação do milho, XXVII — Ensaio com diversos fosfatos (10ª série). **Bragantia**, v. 29 n. 28. 1970.

MOREIRA, A. et al. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo por métodos isotópicos, químicos e biológicos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, p. 78-84, 1997.

MORELLI, J. L. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas produtividades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.57-61, 1991.

NAKAYAMA, L.H.I. et al. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, p. 183-190, 1998.

NEPTUNE, André M. Louis et al. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 37, n. 2, p. 979-989, 1980.

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

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 101-108, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.

RAIJ, B. van et al. **Fertilidade do solo e adubação**. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100).

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

RAIJ, B. van **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Avaliação da eficiência agronômica de termofosfato magnésiano em função da granulometria. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba. **Anais**. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.248-249. 1992.

RODRIGUES, F. de A. et al. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas, Piracicaba-SP**, n. 134, p. 14-28, 2011.

SANTOS, J. Z. L. **Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho.**

Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2005.

SANTOS, A. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Lucratividade em função do uso e índice de eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados aplicados em pré-plantio de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 846-851, nov./dec. 2012.

SAVANT, N. K., DATNOFF, L. E., SNYDER G. H. Depletion of plant-available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** v. 28, p.1245-1252, 1997.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 500-504, 1980.

SOUZA, C. H. E. et al. Extratores para fósforo disponível em Latossolos e eficiência de fontes fosfatadas para milho cultivado em vaso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.1, p.38-46, 2011.

STEFANUTI, R. **Efeito da granulometria de um termofosfato magnesiano no aproveitamento do fósforo.** Piracicaba, 1991. 76p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1991.

VOLKWEISS, S. J.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1976. p. 317-332.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. **Encyclopedia of plant physiology. New series**, 1983.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004.