

ESCOLA AGROTÉCNICA FEDERAL DE MUZAMBINHO
Curso Superior De Tecnologia Em Cafeicultura

LUIZ FERNANDO MADEIRA RIBEIRO

**INTERFERÊNCIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO SOB DIFERENTES DOSES DE
TERMOFOSFATO E SUPERFOSFATO SIMPLES
NO CAFEIRO**

Muzambinho
2008

LUIZ FERNANDO MADEIRA RIBEIRO

**INTERFERÊNCIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO SOB DIFERENTES DOSES DE
TERMOFOSFATO E SUPERFOSFATO SIMPLES
NO CAFEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho como
requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo
em Cafeicultura.

Orientador: Prof^o. Dr. Marcelo Bregagnoli

**Muzambinho
2008**

COMISSÃO EXAMINADORA

Marcelo Bregagnoli

Celso Antônio Spaggiari Souza

Anna Lygia de Rezende Maciel

Muzambinho, 10 de dezembro 2008

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a nossa Mãe e Padroeira Nossa Senhora Aparecida
que sempre nos protege, ilumina e intercede por nós.

Aos meus pais José Cássio e Lenilda e irmãos J.C. Junior e Jéssyca pelo
apoio, ajuda, amizade e confiança.

A Camila Araújo pela amizade, carinho e apoio nos momentos mais
importantes da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao bom Deus pela minha existência e pelas graças derramadas na minha vida.

Aos coordenadores e professores do curso pelo tempo dedicado a nossa formação, além da amizade adquirida nesses anos.

Agradeço aos amigos da Republica dos Koqueiros pelos anos de amizade e companheirismo.

Ao orientador Marcelo Bregagnoli aos momentos de dedicação para que este trabalho se realizasse.

Aos amigos e companheiros de classe, que nesses três anos foram como irmãos.

O discípulo não está acima do seu mestre, mas todo aquele que for bem preparado, será como o seu mestre.

Lucas, 6.40

RIBEIRO, Luiz Fernando Madeira. **Interferência nos atributos químicos do solo sob diferentes doses de termofosfato e superfosfato simples no cafeeiro**. 2008. 43 f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

RESUMO

Na cafeicultura atual muito se discute sobre o fósforo, elemento essencial que participa de várias funções na planta, onde autores se contrastam sobre as dosagens a serem recomendadas. Os atributos químicos do solo, principalmente o pH, influenciam grandemente na disponibilização desse e outros nutrientes para a planta e são alterados pela aplicação de fertilizantes no solo. O objetivo do experimento foi avaliar a influência nos atributos químicos do solo pela aplicação dos tratamentos propostos. Esse trabalho foi conduzido na Fazenda Grama, no município de Guaxupé – MG, utilizando 6 doses de termofosfato 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg P₂O₅ há⁻¹ , 1 dose de Super fosfato simples (300 kg P₂O₅ há⁻¹) e uma testemunha.. O experimento mostra que o termofosfato interfere nos atributos químicos, abaixando o teor de Al, H+Al e m% e aumentando a Soma de bases, o V% e por fim o pH.

Palavras Chave: *Coffea Arábica*, Interação, Nutrição, Adubação Fosfatada.

RIBEIRO, Luiz Fernando Madeira. **Interference in the soil chemical attributes under different doses of thermophosphate and single superphosphate in the coffee plant.** 2008. 43 f. Completion of the work of the Curso Superior de tecnologia em Cafeicultura (Graduation) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

ABSTRACT

At present coffee crop is discussed a lot about phosphorus, an essential element that participates in various functions in the plant, where some authors are contrasted about dosages to be suggested. The soil chemical attributes, especially the pH, has a great influence in the availability of this and other nutrients to the plant and they are changed by the fertilizers application in the soil. This work was conducted at the "Gramma" farm in Guaxupé city (MG), using 6 doses of thermophosphate 53.3, 106.5, 213, 426, 852 and 1704 kg P₂O₅ ha⁻¹), 1 dose of single superphosphate (400 kg P₂O₅ ha⁻¹) and a witness. The experiment aimed was to evaluate the influence of soil chemical attributes by application of proposed treatments. The experiment showed that the thermophosphate interfered with the chemical attributes, lowering the content of Al, H + Al e m% and increasing the bases sum, the V% and finally the pH.

Key words: *Coffea arabica*, Interaction, Nutrition, Phosphate fertilizers.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Nutrição Mineral do Cafeeiro.....	12
2.1.1. Nitrogênio (N)	12
2.1.2. Fósforo (P).....	12
2.1.3. Potássio (K)	13
2.1.4. Cálcio (Ca).....	13
2.1.5. Magnésio (Mg)	14
2.1.6. Enxofre (S)	14
2.1.7. Boro (B).....	14
2.1.8. Zinco (Zn).....	15
2.1.9. Cobre (Cu)	15
2.1.10. Ferro (Fe).....	16
2.1.11. Manganês (Mn)	16
2.1.12. Molibdênio (Mo)	17
2.1.13. Cloro (Cl).....	17
2.2. Fósforo (P).....	18
2.2.1. Formas de P no solo	18
2.2.2. Fósforo na solução do solo	20
2.2.3. Fósforo na Planta	23
2.3. Acidez do Solo	24
2.3.1. Acidez ativa e potencial.....	26
2.3.2. Soma das Bases (SB).....	28
2.3.3. Porcentagem de saturação por alumínio (m%).....	29
2.3.4. Porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V%)	29
2.4. Fontes de P	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Local do experimento	32
3.2. Variedade.....	33
3.3. Delineamento experimental.....	33
3.4. Práticas culturais.....	35
3.5. Avaliações	35
3.5.1. Análise dos atributos químicos do solo	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos de exportação do Brasil, sendo que o seu cultivo ocupa extensas áreas agrícolas do País. Boa parte dos solos tropicais, incluindo os brasileiros, apresenta elevada capacidade de fixação de fósforo e baixos teores desse nutriente em formas disponíveis. Sendo assim, a adubação fosfatada realizada nessas regiões, apresentam-se com baixa eficiência, visto que grande parte do nutriente adicionado será retida pelo solo. Assim, são necessárias aplicações de elevadas doses de fertilizantes fosfatados para o plantio e para a produção, mas são extraídas pelas plantas quantidades relativamente pequenas de fósforo, indicando que grande parte dos fosfatos adicionados estaria indisponível para o cafeeiro. Dentro desse contexto, a forma de aplicação do adubo fosfatado assume papel importante no sistema de produção cafeeira, quando a atividade se encontra implantada em solos com elevada capacidade de retenção de fósforo.

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidios. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é, pois, essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (GRANT et al., 2001).

Em relação a doses, considerando um solo com baixo teor de fósforo e elevada capacidade de adsorção, a 5ª Aproximação de Minas Gerais (RIBEIRO et al, 1999) recomenda uma dose de 80 kg há⁻¹ de P₂O₅ para uma produtividade maior que 60 sc/ha de café arábica. Nas mesmas condições, o Boletim Técnico 100 de São Paulo (RAIJ, 1997) relata que, para uma produtividade maior do que 80 sc há⁻¹ de café arábica, a dose deve ser 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Em artigo recente, entretanto, Guerra et al. (2007) recomendam, sem considerar os teores de fósforo presentes no solo, a elevada dose de 300 kg há⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, para a produção de safras anuais em torno de 60 a 70 sc há⁻¹ de café arábica. Os autores sustentam que as doses não sejam fundamentadas

exclusivamente na carga pendente, pois as aplicações de fertilizantes devem ter por objetivo o crescimento de novos ramos e nós para a próxima safra.

O pH é um atributo dos solos que influencia muito na absorção do fósforo pela planta. Quando o pH está fora da faixa ideal, o P pode ser fixado, ou seja, não fica na forma disponível pela planta.

O trabalho objetivou avaliar quanto a dose de termofosfato e superfosfato simples influencia nos atributos químicos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nutrição Mineral do Cafeeiro

2.1.1. Nitrogênio (N)

O N, segundo Malavolta (1980), é altamente exigido pelo cafeeiro, sendo que quando se faz uma adubação nitrogenada adequada e não havendo outros fatores limitantes, proporciona formação de folhas verdes e brilhantes e um rápido e crescimento da planta, aumento da ramificação dos ramos plagiotrópicos, e da área foliar e, maior produção de amido e outros carboidratos.

O N exerce funções, na formação de proteínas e funções enzimáticas e está envolvido na fotossíntese como parte da clorofila (LOPES, 1989).

Em condições de deficiência, as folhas ficam menores que as normais, com caules finos e brotação escassa. As folhas têm coloração amarelo – esverdeada nos primeiros estágios de desenvolvimento das plantas, podendo desenvolver cor amarela ou púrpura com o envelhecimento (COELHO; VERGENLIA, 1973).

De acordo com Guimarães e Mendes (1997) em deficiências severas de N no cafeeiro ocorre a seca descendente de ramos, e os frutos ficam menores que os normais. A morte descendente ocorre sempre que as folhas apresentam menos que 2,5% de N e menos que 1,5% de K.

2.1.2. Fósforo (P)

O P atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e na transferência de energia, divisão celular, crescimento das células e em vários outros processos da planta (LOPES, 1989).

Atua no desenvolvimento do sistema radicular, formação do lenho da planta e é também muito importante na granação dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Os sintomas mais comuns de deficiência no cafeeiro são em regiões altas e frias, são a perda de brilho das folhas, que em seguida mudam de cor na seguinte seqüência: amarelo brilhante, amarelo róseo, vermelho escuro e marrom arroxeadado,

na ponta e margens das folhas, sendo que em casos mais graves pode causar queda prematura das folhas (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.3. Potássio (K)

Algumas funções do K na planta, são a translocação de açúcares; abertura e fechamento de estômatos; regulação osmótica; a ativação enzimática como a principal função do K, mais de 50 enzimas são dependentes do K para sua atividade normal (MALAVOLTA, 2006 ; FAQUIN, 2005).

No cafeeiro sua exigência aumenta com a idade da lavoura, e principalmente no período da frutificação. Na planta ocorre a translocação das folhas adjacentes para os frutos, pois o elemento é muito móvel na planta (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

O sintoma de deficiência é o aparecimento de manchas pardas próximas das margens que coalescem logo após. Em seguida ocorre necrose dos bordos das folhas, inicialmente nas folhas mais velhas. O tecido central é pouco afetado, em casos mais graves, a deficiência do K causa seca de ramos e frutos chochos e escuros pelo ataque de fungos (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.4. Cálcio (Ca)

Nutriente importante para o cafeeiro, com atuação no crescimento e desenvolvimento das raízes, retenção das folhas, desenvolvimento das gemas, maturação dos frutos e na formação de algumas proteínas. A disponibilidade de Ca no solo pode ser influenciada pela textura do solo, quantidade de matéria orgânica, lixiviação e remoção pela cultura. A absorção do Ca é diminuída por altas concentrações de K e Mg no meio, como também $N-NH_4^+$ e depois de localizado na folha se torna muito imóvel (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Em casos de deficiência ocorre a clorose das folhas jovens e em casos mais graves, morte da gema terminal em plantas jovens. As raízes ficam pouco desenvolvidas e ineficientes para a absorção de água e minerais (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.5. Magnésio (Mg)

É um elemento constituinte da clorofila e tem relação com o transporte de P e carboidratos nas plantas. Concentra-se mais em folhas, acumulando-se também nas partes em crescimento do caule e raízes. A presença de Mg aumenta a absorção de P (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Os sintomas de deficiência aparecem como uma cor amarelada, bronzeada ou avermelhada, enquanto as nervuras das folhas permanecem verdes (LOPES, 1989).

2.1.6. Enxofre (S)

O S é essencial na formação de proteínas na planta porque ele é parte de certos aminoácidos. Os aminoácidos são os “blocos formadores de proteínas”. O S ajuda na produção de enzimas e vitaminas, promove a formação dos nódulos (para fixação do N) em leguminosas, auxilia na formação das sementes e é necessário na formação da clorofila, apesar de não ser um constituinte dela (LOPES, 1989).

Os sintomas de deficiência são cor amarelada em folhas novas devido à falta de clorofila nos cloroplastos e também pode ocorrer o encurtamento dos internódios e desfolhamento da planta (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.7. Boro (B)

O B é essencial para germinação dos grãos de pólen e para o crescimento do tubo polínico, e formação das sementes e das paredes celulares. O B forma complexos açúcar/borato relacionados com a translocação de açúcares e é importante na formação de proteínas (LOPES, 1989).

É um nutriente que é encontrado na matéria orgânica e os fatores que contribuem para a sua falta de cálcio ou a colagem excessiva, ou ainda o excesso de nitrogênio na adubação. Sua deficiência pode causar a morte de gemas terminais na ponta dos ramos e ápice das plantas causando superbrotação em forma de “leque” e o formato das folhas que se tornam deformadas, de tamanho menor que o normal, estreitas e retorcidas com bordos irregulares. Devido a importante função do boro na formação do tubo polínico durante a fecundação, sua eficiência causa

grande aborto de flores e por conseqüência, redução da produtividade das lavouras em produção (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.8. Zinco (Zn)

O Zn é um importante componente de vários sistemas enzimáticos que regulou diversas atividades do metabolismo das plantas. Está relacionado com o metabolismo normal do carbono nelas. É componente de enzimas que tomam parte em aspectos específicos do metabolismo normal de proteínas, e necessário na formação de auxinas, que são hormônios de crescimento (COELHO; VERGENLIA 1973).

No caso do Zn é comum o aparecimento de deficiência acentuada após a poda do cafeeiro, sendo que em casos mais graves pode levar a morte da planta. Os sintomas de deficiência no cafeeiro são áreas de crescimento novo da planta com folhas pequenas, estreitas e tortas, nervuras das folhas formam uma rede verde contra fundo pálido e forma-se uma faixa verde estreita ao longo da nervura principal. Os ramos se apresentam com poucas folhas e é comum a queda dessas (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.9. Cobre (Cu)

O Cu na planta parece ter função em certos sistemas enzimáticos e esta concentrado mais nas radículas das plantas do que nas folhas ou outros tecidos, e talvez tenha importante função no metabolismo da raiz. A principal função do Cu no metabolismo vegetal é como ativador ou componente de enzimas que participam de reações de oxi-redução. Assim o Cu participa de uma série de processos metabólicos nos vegetais. Em plantas deficiente em Cu, a taxa fotossintética é reduzida por uma série de razões. Mais de 50% do Cu localizado nos cloroplastos estão ligados à plastocianina, que é um componente da cadeia de transporte de elétrons do Fotossistema I, o qual tem sua atividade drasticamente afetada em plantas deficientes no elemento. O Cu é componente de outras enzimas nos cloroplasto (COELHO; VERGENLIA, 1973; FAQUIN, 2005).

A deficiência pode ser induzida pelo excesso de N na adubação, causando o efeito diluição na folha. Também o excesso de matéria orgânica, a adubação

fosfatada pesada, o encharcamento do solo, a calagem excessiva e a poda poderão induzir a deficiência de Cu. O desenvolvimento rápido do tecido internerval, em relação as nervuras faz com que as folhas se tornem com aspecto anormal (“folhas acosteladas”). Em plantas jovens principalmente, as folhas podem encurvar-se para baixo, dando a essas o nome vulgarmente utilizado de “orelha de zebu”. Casos mais graves podem causar desfolhamento e cortiça nos caules (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.10. Ferro (Fe)

Uma das principais funções do Fe na planta é agir como catalisador na produção de clorofila. A falta de Fe é a mais específica e facilmente identificável de todas as deficiências minerais das plantas, facilmente notada pela observação das folhas novas em crescimento, consistindo os primeiros estágios, geralmente, de coloração verde-pálida. O estágio seguinte consiste de clorose das folhas na parte entre as nervuras. A característica dessa clorose é a aguda distribuição entre as nervuras verdes e os tecidos amarelos entre elas (FAQUIN, 2005).

Para cafeeiro o Fe é importante na formação da clorofila e na respiração. É um nutriente de difícil translocação das partes mais velhas para as mais novas do cafeeiro, podendo ocorrer deficiência quando o crescimento da planta é rápido. Os sintomas de deficiência são a clorose no parênquima das folhas permanecendo porém as nervuras bem verdes. Por ser um nutriente pouco móvel na planta os sintomas aparecem principalmente em folhas novas (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.11. Manganês (Mn)

O Mn é o micronutriente mais abundante no solo depois do Fe. A principal forma de Mn para a nutrição de plantas é o Mn^{2+} , que pode encontrar-se adsorvido aos colóides, solúvel na solução do solo na forma iônica (pequena concentração) ou na forma de quelato. Análises da solução do solo tem demonstrado que mais de 90% do Mn está complexado a compostos orgânicos (FAQUIN, 2005).

As funções bioquímicas do Mn são semelhantes ao Mg, entretanto, a concentração do Mg é aproximadamente 100 vezes maior que a do Mn. A função do

Mn mais estudada em plantas é a sua participação, juntamente com o Cl, na evolução do O₂ no processo fotossintético (quebra fotoquímica da água no fotossistema III), na reação de Hill (FAQUIN, 2005).

Sua deficiência ocorre principalmente em solos com pH alcalino ou no caso de calagens excessivas, que insolubilizam o Mn e/ou de alto teor de matéria orgânica. Cuidados devem ser tomados em relação ao excesso de Mn, pois o seu excesso afeta a absorção de Zn. A carência do Mn aparece primeiro nas folhas novas (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.12. Molibdênio (Mo)

O Mo é necessário para formação da enzima Redutase do Nitrato, que reduz nitratos a amônio na planta. Este micronutriente é vital para ajudar leguminosas a formarem nódulos que são indispensáveis ao processo de fixação simbiótico de N. O Mo também é essencial para converter o P inorgânico em formas orgânicas na planta (COELHO; VERGENLIA, 1973).

De acordo com Guimarães e Mendes (1997), os sintomas de deficiência aparecem primeiro em folhas velhas, essas folhas ficam com manchas verde-amareladas no sentido das nervuras secundárias um pouco distantes das margens. Folhas se curvam para baixo até as margens se tocarem.

2.1.13. Cloro (Cl)

O Cl é essencial para o crescimento das plantas, mas pouco se sabe sobre as suas funções. Existem suspeitas de que ele interfira na absorção de P e intensifique a maturação de pequenos grãos em alguns solos. Felizmente, ele é raramente limitante no solo. Os cloretos não são retidos no solo e, conseqüentemente, são sujeitos a uma alta taxa de lixiviação, e lixiviam mais intensidade em solos arenosos (LOPES, 1989).

Não se conhece os sintomas de deficiência no cafeeiro e sintomas de toxidez só aparecem em casos extremos, quando se encontram teores foliares acima de 5000 a 10000 ppm. A toxidez pode ser induzida por algum exemplo por aplicações excessivas de cloreto de potássio em solos de drenagem impedida,

quando as plantas passam a apresentar sintomas como folhas com secamento nas pontas e margens e queda de frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.2. Fósforo (P)

O P é, dos macronutrientes, um dos menos exigidos pelas plantas, porém é um dos mais estudados em nutrição no Brasil. Nas regiões tropicais e subtropicais, é o elemento de maior limitação na produção, principalmente em culturas anuais. Mais de 90% das análises de solo no Brasil mostram teores de P disponíveis menores que 10mg dm^3 . Além da carência generalizada de P nos solos brasileiros, o elemento apresenta forte interação com o solo (fixação) o que reduz a eficiência da adubação fosfatada (FAQUIN, 2005).

2.2.1. Formas de P no solo

De acordo com Coelho e Vergenlia (1973) ocorrem dois problemas com o P no solo: o primeiro é que em geral, o conteúdo de P no solo é baixo. O segundo problema é que a maioria dos compostos de P do solo não é assimilável pelas plantas. Por causa da baixa solubilidade dos compostos de P na solução do solo, o P não se perde por lixiviação. Assim, a quantidade de P nas camadas superficiais são maiores. Outro fator que facilita sua concentração na camada superficial é que o P absorvido das camadas mais inferiores pelas raízes das plantas é parcialmente incorporado na camada arável através dos restos culturais. O autor ainda afirma que a maioria dos solos contém entre 0,02 e 0,08% de P.

Os solos podem apresentar de 100 a 2500 Kg há⁻¹ de fósforo total, na camada arável. Todavia, qualquer que seja a natureza do solo, a concentração de fósforo em solução é extremamente baixa, normalmente entre 0,1 e 1,0 kg/ha, dando a elevada tendência de remoção do fósforo na solução, tanto por precipitação quanto por adsorção com compostos de Al, Fe e Ca (FURTINI NETO et al., 2001).

Todo o P da planta, e do solo, está presente como fosfato, livre ou esterificado através de um grupo hidroxila a uma cadeia carbônica (C-O-P) caso dos ésteres simples, ou ligado a outro radical fosfato por uma ligação de pirofosfato, presente nos nucleotídeos di e trifosfatados e em polifosfatos (MALAVOLTA, 2006).

O P no solo ocorre em duas classes principais, orgânico e inorgânico. A proporção em que ocorrem varia muito, geralmente o conteúdo de P orgânico aumenta com o conteúdo de matéria orgânica e com a diminuição do pH (COELHO; VERGENLIA, 1973).

No solo o P aparece na forma orgânica e mineral. O P orgânico ocorre com teores proporcionais à matéria orgânica. Vários compostos de P foram identificados na matéria orgânica do solo, predominando os fosfatos de inositol, fosfolípidos e ácidos nucleicos. Na forma mineral, a proporção relativa dos compostos inorgânicos de P, com Fe, Al e Ca são condicionados pelo pH e pelo tipo e quantidade de minerais existentes na fração argila. Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de Fe e Al, são mais importantes as combinações P-Fe e P-Al, enquanto em solos neutros ou calcários aparece mais P-Ca (FAQUIN, 2005).

Albuquerque (1986) fez uma tentativa para representar o equilíbrio entre as formas de P nos solos do Brasil e, ao mesmo tempo, quantificá-los como se vê na Figura 1. Notar o pequeno tamanho do reservatório da solução de onde a planta “bebe” o P (e demais elementos) que necessita. Aplicam-se, no caso, os conceitos de intensidade (I) e quantidade (Q) e capacidade (C), representados na Figura 1. O pouco P solução (I), diante da necessidade da planta, torna necessário um C alto para manter cheio o reservatório. Sem isso adubar é preciso.

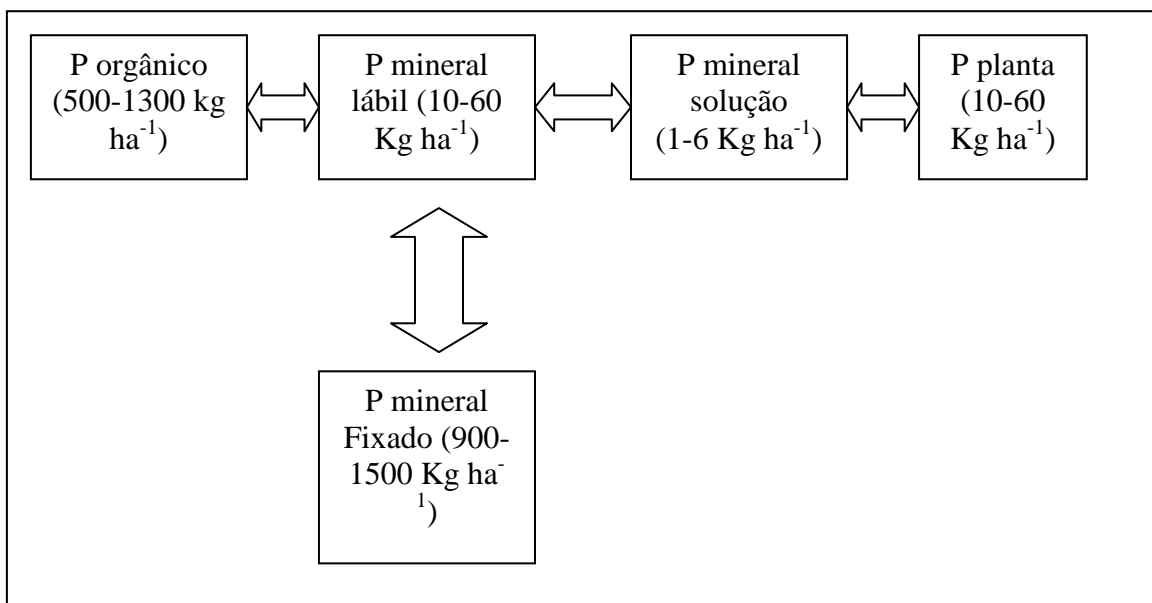


Figura 1- Formas de fósforo nos solos brasileiros.

Fonte: Albuquerque (1986)

De acordo com Malavolta (2006), do ponto de vista do aproveitamento pelas plantas, o pH parece ser a variável com maior influência na disponibilidade. Sendo que em pH mais ácido (menor que 5,5) o P é fixado por óxidos de ferro, alumínio e manganês tornando o fósforo indisponível para as plantas, o mesmo acontece quando o pH se torna alcalino (maior que 7,0), mas nessa situação, o fósforo é fixado por óxidos de cálcio, portanto conclui-se que deve-se manter o pH dos solos entre 5,5 e 6,5 para evitar a fixação do fósforo.

Na Figura 2, Novais et al. (2007) apresenta um esquema geral do P na relação solo-planta, sumariando as principais características de seus componentes e de suas interrelações.

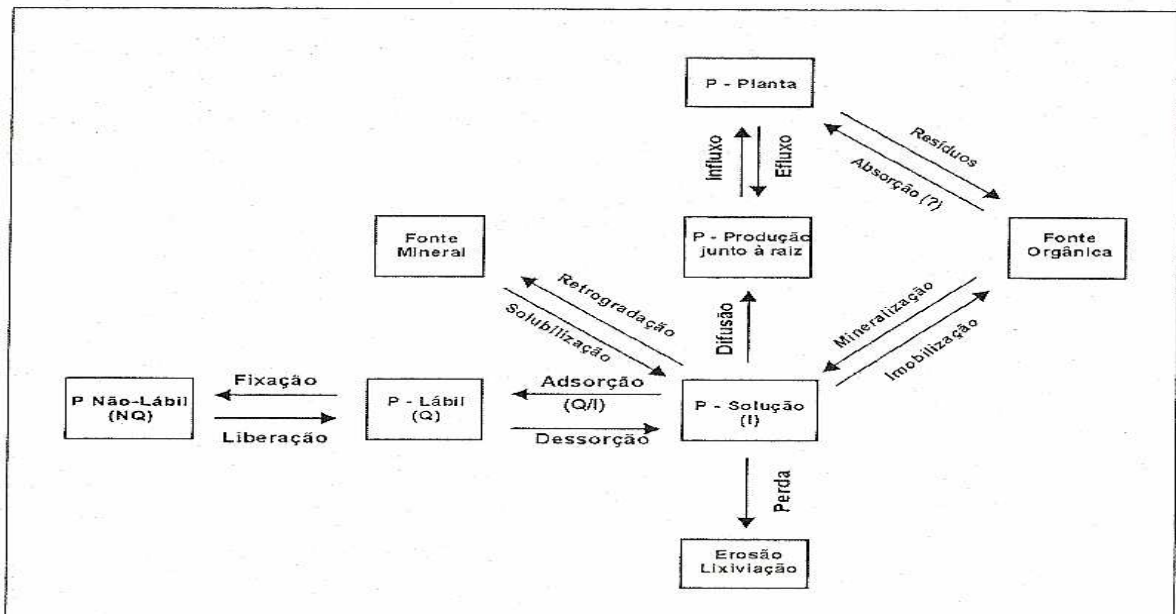


Figura 2- Formas de P no sistema solo-planta: interdependências e equilíbrio
Fonte: Novais et al., 2007.

2.2.2. Fósforo na solução do solo

Considerado que a maioria dos solos apresenta pH na faixa de 4,0 a 9,0 as formas predominantes são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , com quantidade de cada dependendo do pH da solução (Figura 3). Com o pH igual a 7,2 as quantidades se equivalem. Abaixo deste valor de pH, condição existente na grande maioria dos solos cultivados, H_2PO_4^- é a forma predominante (FURTINI NETO et al., 2001).

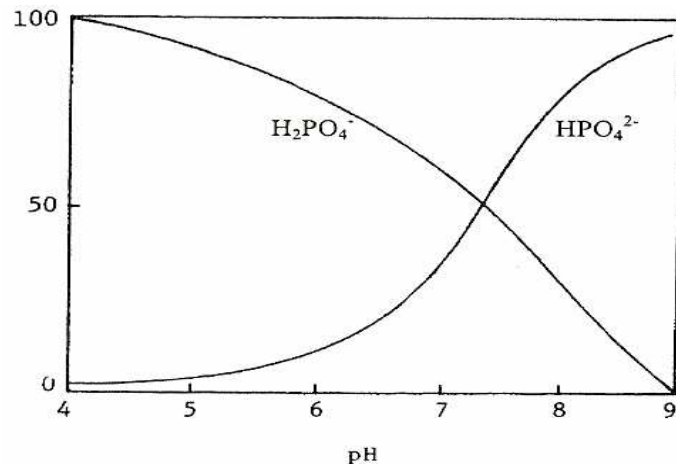


Figura 3- Distribuição relativa dos íons ortofosfato em relação ao pH da solução

Sabendo da existência da "fixação", o que nos resta é conviver com ela, tomando algumas medidas que minimizem seu efeito, como a calagem, adoção do Sistema Plantio Direto e utilização de fontes de P com solubilidade gradual. Solos tropicais apresentam alta capacidade de "fixação" por possuírem elevados teores de ferro, Al, Mn e cargas positivas que vão reter fortemente o fósforo. A Figura 4 mostra que, à medida que o pH do solo aumenta, ocorre a redução das concentrações de Fe, Al e Mn na solução, reduzindo a precipitação do P com os mesmos. Isso ocorre até a faixa de pH próximo a 6,5, acima do qual começam a ocorrer perdas de P ligado ao Ca (BARROS JUNIOR, 2003).

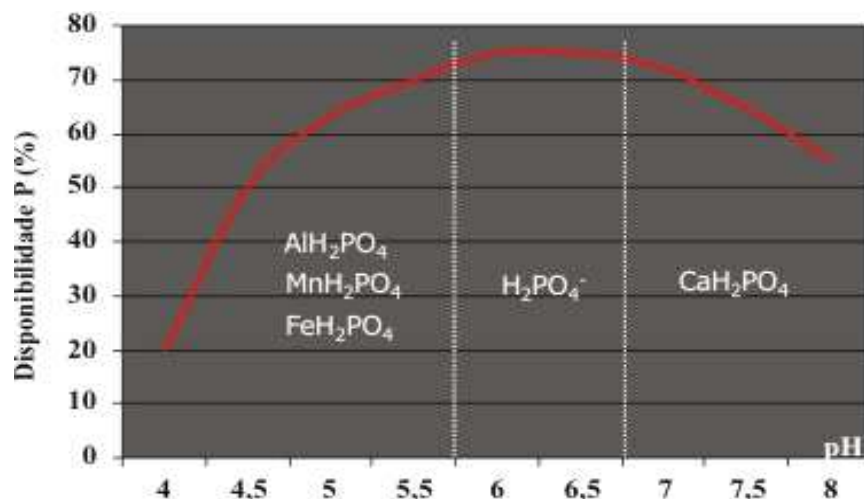


Figura 4 - Solubilização de compostos de P em função do pH.

Fonte: Barros Junior (2003)

A precipitação em solos ácidos ocorre com íons Al ou Fe e, no caso de solos alcalinos, com íons Ca. Assim, o caso de solos ácidos, a calagem prévia, ao promover a neutralização do Al e de grande parte do Fe, reduz a fixação do fósforo via precipitação. Por outro lado, o uso excessivo de calcário, promoveria um pH acima de 7,0 que resultaria em novo aumento da fixação via precipitação, desta vez com o Ca (FURTINI NETO et al., 2001).

A calagem é muito importante, mas, devendo ser realizada com critérios, pois reduz a quantidade de cargas positivas do solo e eleva as negativas (CTC), reduzindo as possibilidades do P utilizado na adubação se ligar fortemente à argila que promoveria menor disponibilização do nutriente (Figura 5) (BARROS JUNIOR, 2003).

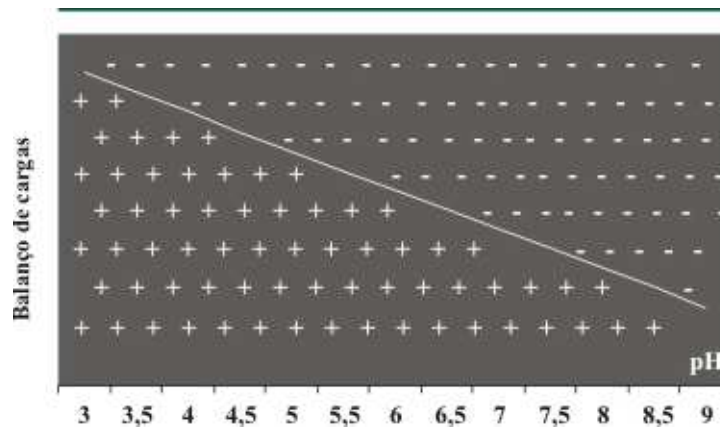


Figura 5 - Balanço de cargas em função do pH.

Fonte: Barros Junior (2003)

Outro mecanismo envolvido na fixação de P é a reação de adsorção na superfície de argilas, óxidos hidratados de Fe e Al ou Carbonato de Cálcio, em solos calcários. A adsorção de fósforo ocorre através da ligação covalente de alta energia, todavia, pelo menos parte do fósforo adsorvido permanece por certo tempo na forma lábil, ou seja, pode retornar a solução (FURTINI NETO et al., 2001).

A fixação de P tem relevância no manejo da fertilidade do solo, visando maior eficiência do uso de fertilizantes fosfatados. Em função do que foi visto, quanto mais ácido, maior o predomínio de óxidos de Fe e Al na fração de argila, maior é a capacidade de fixação. Em termos práticos, o teor de argila é uma característica a ser considerada pois apresenta elevada correlação com a fixação de fosfatos por solos sob vegetação de cerrado (LOPES, 1983).

2.2.3. Fósforo na Planta

O ácido ortofosfórico, H_3PO_4^- , dá por dissociação três espécies iônicas, dependendo do pH do meio: H_2PO_4^- , HPO_4^{-2} e PO_4^{-3} . Na faixa de pH que vai de 4 a 8, onde as plantas se encontram, predomina o H_2PO_4^- . A absorção de P é fortemente influenciada pela concentração de Mg^{+2} no meio; o efeito é sinérgico. As micorrizas, aumentando a superfície absorvente promovem maior absorção do H_2PO_4^- (MALAVOLTA, 1980).

O P absorvido em forma mineral é rapidamente incorporado em compostos orgânicos: 10 minutos depois da absorção, 80% do P podemos ser encontrados como fosfohexases e difosfato de uridina. O transporte no xilema se faz principalmente na forma de H_2PO_4^- podendo na seiva bruta aparecer o elemento como fosforil colina e ésteres de carboidrato. Altas concentrações de Ca, Cu, Fe e Zn e um pH pouco ácido podem determinar precipitação do fosfato inorgânico nos vasos do xilema. A redistribuição do P pelo floema é uma das mais rápidas (MALAVOLTA, 1980).

O P requerido para o ótimo crescimento das plantas varia, dependendo da espécie e do órgão analisado, de 0,1 a 0,5% na matéria seca. De maneira geral, sua exigência pelas plantas é menor que do N, K, Ca e Mg, igualando-se à do S. O fosfato é bastante móvel na planta sendo redistribuído com facilidade pelo floema. Dados recentes mostram que P inorgânico é presente também no floema em substancial concentração. Ocorrendo redução no suprimento de P nas plantas, este P_i sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos novos em crescimento. Dada a fácil redistribuição do P na planta, os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente em folhas mais velhas (FAQUIN, 2005).

Observa-se que na faixa de pH do solo (4 a 7), predomina a forma de H_2PO_4^- , forma esta absorvida pelas raízes das plantas. Segundo Faquin (2005) a concentração de fosfato nas células radiculares e na seiva do xilema é de 10 a 1000 vezes maior do que a da solução do solo. Isto ilustra que a absorção de fosfato dá-se contra alto gradiente de concentração, portanto, absorvido ativamente.

Bieleski e Ferguson (1983 apud Malavolta, 2006) classificam os compostos de P da célula vegetal em cinco grupos:

- a) **Fosfato inorgânico, Pi.** Solúvel em água. O mais importante dos compostos considerados isoladamente, mas o que aparece em proporção mais variável em relação ao total
- b) **Ésteres simples.** Extraídos por solventes aquosos. Cerca de 50 foram identificados. “Juntos representam a maquinaria metabólica da célula”. Nas sementes e tubérculos, entretanto, predomina o fosfato de inositol como principal ester, com função de armazenamento em lugar de metabólica.
- c) **Fosfolipídeos.** Solúveis nos solventes das gorduras como clorofórmio ou éter. O glicerol é o centro da molécula. Fosfolipídeos são presentes nas membranas celulares. Os cloroplastos têm um sistema de membranas altamente desenvolvido (tilacoide) e representam 40% do total de fosfolipídeos das células fotossintéticas.
- d) **Ácido desoxiribonucléico (DNA).** Tanto o DNA como o RNA (ácido ribonucléico) ficam no tecido depois da extração com os solventes simples já mencionados: o DNA é uma macro molécula com peso molecular maior que 10..., responsável por carregar a informação genética da célula.
- e) **Ácido ribonucléico (RNA).** Tem estrutura semelhante às do DNA. O P forma uma ponte entre as unidades de ribonucleosídeo (= ribose + base nitrogenada). No RNA transferidor, t RNA, o fosfato terminal tem a função de fornecimento de energia como carregador e ativador de aminoácidos. O RNA está envolvido na translação da informação genética (via mRNA mensageiro) e na síntese de proteína .

2.3. Acidez do Solo

Teoricamente, a acidez do solo é medida como os teores de Al^{3+} e H^+ do solo, mas, na prática, ela é um complexo de vários fatores, em especial da deficiência e da toxicidade dos nutrientes e/ou da baixa atividade dos microrganismos benéficos. A produção das culturas pode ser afetada negativamente por esses fatores e suas interações; além disso, os solos ácidos têm, em geral, baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por base e baixa capacidade

de retenção de água, o que provoca a deficiência hídrica das plantas (FAGERIA et al., 1995; FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999).

Ácidos são substâncias que em soluções aquosa liberam íons hidrogênio, H^+ , de acordo com a relação $HA = H^+ + A^-$. O ácido HA, em solução aquosa, pode se dissociar mais (se forem ácidos fortes) ou menos (se forem ácidos fracos). Eles se dissociam em H^+ e no anion A^- (simbólico) (RAIJ, 1981).

De acordo com Lopes (1990), pela pouca dissociação de ácidos fracos, ocorrem nas soluções aquosas concentrações muito baixas de H^+ , que são de difícil representação em frações decimais. O conceito de pH foi introduzido para representar a concentração de H^+ , sendo expresso por:

$$pH = -\log (H^+) = \frac{\log 1}{(H^+)}$$

A determinação do pH é feita para diagnosticar o potencial de hidrogênio do solo. Isto permitirá conhecer a intensidade da acidez do solo, que é dada pela acidez da solução e pela quantidade de acidez. Assim pois a acidez por intensidade é aquela chamada “acidez ativa” que pode ser extraída pela água ou pela determinação do pH em solução centimolar de cloreto de cálcio. Já, a acidez por quantidade diz respeito ao $H^+ + AL^{+3}$ que se encontram nos colóides do solo, e que ao ser deslocado para solução do solo, aumentam a acidez (OSAKI, 1991).

O grau de acidez depende da concentração dos íons de H^+ existente em uma solução. Essa concentração diz respeito número de íons de H^+ por unidade de volume. A escala abaixo mostra a acidez ou unidades de pH, que utiliza números inteiros de 0 a 14 (OSAKI, 1991).

		Muito ácido		Ácido		Básico		Muito Básico						
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Os valores de pH do solo variam grandemente, numa faixa entre 3 e 10. A reação do solo é fator que, em geral, mais afeta a disponibilidade dos nutrientes às plantas. Sabe-se que a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH entre 6 e 7 (FURTINI NETO et al., 2001).

Em resumo, a acidificação do solo consiste na remoção dos cátions básicos – Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ - do sistema solo, substituindo-os por cátions ácidos – Al^{3+} e H^+ (FURTINI NETO et al., 2001).

Os seguintes são muito utilizados, e foram resumidos por Malavolta (1980):

- a) **Acidez Ativa:** Corresponde aos H^+ na solução do solo;
- b) **Acidez Potencial:** Corresponde aos H^+ e Al^{3+} no complexo de troca;
- c) **Acidez Total:** Soma das duas.

2.3.1. Acidez ativa e potencial

A acidez do solo pode ser ativa (ou iônica) e potencial (ou reserva). A ativa diz respeito à parte do H que está dissociado. Resulta de íons de H^+ dissociados na solução do solo e que é expressa em termos de pH. É medida pela determinação do pH, por meio da análise de solo (OSAKI, 1991).

A acidez potencial refere-se à parte não dissociada do H^+ . O que provoca essa acidez são os íons de H^+ e Al^{3+} adsorvidos nas cargas negativas dos colóides. Os constituintes principais da acidez potencial em solos ácidos são: Alumínios trocável, óxidos e hidróxidos de Fe e AL, que se encontra na superfície das argilas ou nos espaços inter-laminares, fenóis e ácidos da matéria orgânica, através de seus radicais carboxila e hidroxila. A acidez ativa é um efeito da acidez potencial isto é, a acidez potencial é a causa da acidez ativa (OSAKI, 1991).

Malavolta (1980) cita diversos fatores que influenciam no grau de acidez do solo:

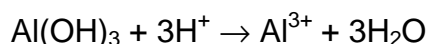
- a) **Material de origem:** Os solos formados por intemperismo das rochas básicas tem em geral pH mais elevado do que os solos oriundos de rochas ácidas;
- b) **Chuva:** A água atravessa o solo e pode levar elementos “básicos” com K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} que são substituídos por elementos ácidos como H^+ , Al^+ e Mn^{2+} ;
- c) **Planta:** Solos de florestas tendem a ser mais ácidos que os de pastagens; as culturas podem variar muito nas quantidades de Ca e Mg que absorvem e removem do solo, as leguminosas geralmente retiram-nos em maiores proporções do que as gramíneas;

Deve-se considerar que as plantas podem alterar o pH do solo. As raízes alteram o pH através da liberação de íons H^+ ou OH^- , em função do balanço entre a absorção de cátions e ânions, dado a necessidade do balanço eletroquímico, tanto

no citoplasma das células da raiz quanto da solução do solo (FURTINI NETO et al, 2001).

- d) **Profundidade:** Geralmente a acidez aumenta com a profundidade;
- e) **Adubação:** Os adubos, particularmente os nitrogenados, aumentam a acidez devido grande parte à transformação biológica (nitrificação) por que passam no solo.

Em solos muito ácidos ocorre a dissolução de Al, que passa a ser componente da acidez potencial, a reação é a seguinte:



O Al é assim, causa da acidez excessiva de solos, sendo um dos responsáveis pelos efeitos desfavoráveis da acidez dos solos aos vegetais, por ser um elemento fitotóxico. Cabe ressaltar que a acidez potencial dos solos é constituída por H e Al, ou H+Al, mas que somente o Al é um cátion trocável. Daí porque o Al trocável é também conhecido com acidez trocável (RAIJ, 1991).

O teor de Al trocável tem sido usado como indicador do potencial fitotóxico do Al no solo. Todavia, considerando a variação da CTC entre solos, um melhor indicador tem sido a percentagem de saturação de Al (m%). Nesta avaliação, é preciso considerar que as espécies de plantas ou, até mesmo, cultivares dentro de uma espécie têm demonstrado comportamento diferencial quanto à susceptibilidade à toxidez ocasionada pelo Al (FURTINI NETO et al., 2001).

A acidez de um solo é devida à presença de H⁺ livres, gerados por componentes ácidos presentes no solo (ácidos orgânicos, fertilizantes nitrogenados, etc.). A neutralização da acidez consiste em neutralizar os H⁺, o que é feito pelo ânion OH⁻. Portanto, os corretivos de acidez devem ter componentes básicos para gerar OH⁻ e promover a neutralização (Figura 6) (ALCARDE, 2005).

2.3.3. Porcentagem de saturação por alumínio (m%)

Expressa a fração ou quantos por cento da CTC efetiva estão ocupados pela acidez trocável ou Al trocável. Em termos práticos, reflete a porcentagem de cargas negativas do solo, próximo ao pH natural, que está ocupada por Al trocável. É uma outra forma de expressar a toxidez de alumínio. Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto, menores os teores de Ca, Mg e K, menor a soma de bases e maior a porcentagem de saturação por alumínio (LOPES ; GUILHERME, 1992).

2.3.4. Porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V%)

Este parâmetro reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupados por Ca, Mg, K e, às vezes, Na, em comparação com aqueles ocupados por H e Al. É um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis ($V\% > 65$ – solos eutróficos) de solos de menor fertilidade ($V\% < 65$ – solos distróficos) (EMBRAPA, 1999).

2.4. Fontes de P

As fontes de P mais usadas na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis em água, como o superfosfato simples, superfosfato triplo, monoamônio fosfato e dimônio fosfato e termofosfato. Como existem no Brasil diversas jazidas de fosfatos, vem sendo pesquisado o uso de fosfatos naturais, que são minérios moídos e concentrados e devido ao menor processamento industrial, apresenta custos bem mais baixos. Os fosfatos naturais brasileiros são: Fosfato de Patos de Minas, Araxá, Catalão, Jacupiranga, Abaeté e Alvorada. Existem também os fosfatos naturais importados, como o Gafsa (hiperfosfato), Negev, Marrocos, Flórida e Tenesse, que são em geral mais eficientes do que os de origem nacional. Além desses fosfatos naturais, vem também sendo avaliados alguns fosfatos que recebem algum tratamento para melhorar sua solubilidade, destacando-se os tratamentos térmicos moderados e a acidulação parcial (RAIJ; ROSAND ; LOBATO, 1992).

Furtini Neto et al (2001) citam varias fontes de P:

a) Rochas fosfatadas ou Fosfato Natural

Os fosfatos brasileiros – Fosfato de araxá, fosfato de Patos de Minas, fosfato de Tapira e fosfato de Catalão – são constituídos basicamente de fluorapatitas e, portanto, praticamente não apresentam fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% ou em água, ou seja, são de eficiência agrônômica baixa. A eficiência agrônômica no entanto, pode ser aumentada para a aplicação em solos ácidos, em forma de pó fino, incorporado ao solo, no caso de instalação de pastagens ou culturas perenes tolerantes a acidez. Os fosfatos Naturais nunca devem ser utilizados em adubações de plantio de culturas anuais, principalmente em solos menos ácidos ou que receberam calcário.

b) Superfosfato Simples

O superfosfato simples é obtido do tratamento de rocha fosfatada apatita com ácido sulfúrico concentrado. O superfosfato simples é uma mistura de fosfato monocalcico com Gesso, onde o CaSO_4 representa 50% do peso.

O SFS contém de 16 a 22% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%, dos quais cerca de 90% é solúvel em água. Em adição, apresenta cerca de 12% de S e 26% de CaO.

c) Superfosfato Triplo

O tratamento da rocha fosfatada com elevada quantidade de ácido sulfúrico resulta na produção de ácido fosfórico e gesso. O gesso acumula como subproduto, enquanto o ácido fosfórico é separado por filtragem para ser usado na produção do superfosfato triplo.

Pela separação do gesso e enriquecimento com ácido fosfórico, obtém-se um fertilizante com 44 a 52% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% e água. Apesar da vantagem do alto teor de P, o SFT apresenta as desvantagens de um menor teor de CaO (15%) do que o superfosfato simples (26%) e de não conter S.

d) Termofosfato

Os Termofosfato são definidos como fertilizantes resultantes de tratamento térmico de rochas fosfatadas com ou sem adição de outros materiais (silicato de magnésio), tratamento este que visa converter o fósforo de modo disponível nos vegetais. No caso de Termofosfato Magnesiano, é necessária adição de componentes Magnesianos e sílicos (GUARDANI et al.,1983). Torna-se solúvel em contato com os ácidos fracos do solo e das raízes, disponibilizando os elementos de acordo com a necessidade da planta. Além disso, é um excelente beneficiador e revitalizador do solo com efeitos corretivos que satisfazem principalmente solos ácidos.

Os termofosfatos tem cerca de 16% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico, cerca de 26% de CaO, 15% de MgO e, quando for o caso, micronutrientes. Além disso, merece destaque o seu equivalente em $CaCO_3$ de + 50. São portanto, muito eficientes para fosfatagem corretiva de solos levemente ácidos. O fósforo é solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100); o produto é insolúvel em água e apresenta característica alcalina, com pH ao redor de 8,0.

Devido a propriedade alcalinizante do termofosfato, seu efeito em elevar a saturação por bases, abaixando ou eliminando Al^{3+} e elevando, conseqüentemente, o valor do pH.

A aplicação de silicato aumenta a solubilidade de fósforo no solo, diminui a fixação de fertilizantes fosfatados, corrige as deficiências de Ca e Mg e aumenta o valor do pH do solo.

e) Fosfatos de Amônio

São fertilizantes obtidos pela reação da amônia com ácido fosfórico, produzindo o monoamônio fosfato(MAP) ou diamônio fosfato (DAP).

O MAP apresenta 11% de N e 48 a 55% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%, enquanto o DAP apresenta 18% de N e 46 a 53% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%. Ambos podem ser utilizados no plantio, inclusive, há fortes evidências de que a presença de amônio aumenta a absorção do fosfato. Todavia, deve se tomar cuidado com a aplicação de DAP em solos com pH mais elevado, pois a amônia(NH_3) formada é fitotóxica para sementes e plântulas. Na solubilização do

DAP, o pH ao redor do grânulo atinge valores próximos de 9, o que favorece o acúmulo localizado de NH_3 e a fitotoxidez.

f) **Acido Fosfórico**

O ácido fosfórico usado com fertilizante apresenta de 52 a 54% de P_2O_5 . Basicamente, seu uso fica quase que restrito para a produção de misturas fluidas. Com adequação do sistema de irrigação, tem sido usado em fertirrigação, principalmente em irrigação por subsuperfície, pois a sua acidez evita a penetração de raízes nas tubulações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado no período de setembro de 2007 a outubro de 2008, na Fazenda Grama, município de Guaxupé (MG), cujas coordenadas são: $-21^\circ 17' 05''$ (latitude) e $46^\circ 38' 41''$ (longitude) e 988 m de altitude. O clima da região na época do experimento pode ser visto na Tabela 1. O solo é um Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 1999) (Tabela 2), declividade de 3% e elevado teor de argila (48%).

Tabela 1 - Componentes climáticos de Guaxupé - MG.

2007/08	UR	Evapotranspiraça o	Precipitação	T°C x	T°C x	T°C x
	%	Mm	mm	Máx.	Min.	médi a
Setembro	49,7	80,7	23,0	29,7	16,1	22,9
Outubro	58,0	89,6	103,8	30,6	18,1	24,3
Novembro	71,2	88,7	157,2	27,6	17,9	22,7
Dezembro	71,3	91,6	151,2	28,6	18,4	23,5
Janeiro	70,2	103,5	265,6	27,1	18,5	22,8
Fevereiro	67,6	94,5	178,4	28,1	18,5	23,3
Março	74,8	109,1	234,9	27,5	17,2	22,3
Abril	73,5	85,2	175,1	26,3	16,7	21,5
Mai	70,5	84,4	30,3	24,0	12,5	18,2
Junho	70,3	78,1	3,6	24,1	13,2	18,6
Julho	58,0	84,5	0,0	24,6	10,6	17,6
Agosto	59,0	86,5	12,2	27,2	14,2	20,7
Setembro	44,6	90,7	76,5	27,0	14,5	20,7

Fonte: Adaptado de COOXUPÉ. Base de dados da estação meteorológica convencional

Tabela 2 - Resultado análise de solo do local do experimento

	p H	M.O Dag	P ₂ O ₅ mg dm ⁻³	K ₂ O	Ca	M g	Al	H+A I	S B	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
cm	H ₂ O	kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmol _c	dm ⁻³					%	mg dm ⁻³				
0- 10	6, 2	3,28	20,1	145	5,4	1, 3	0, 0	2,5	7, 0	9,6	74	6,0	24	46	3,9	0,62
10- 20	6, 0	2,87	11,3	123	4,9	1, 4	0, 0	2,5	6, 6	9,1	73	3,7	27	37	4,3	0,50
20- 40	5, 6	1,75	5,9	90	3,1	0, 9	0, 1	2,7	4, 2	6,9	61	2,3	34	29	3,5	0,64

Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal da EAFMuz

3.2. Variedade

A variedade de café utilizada foi o mundo novo IAC 379-19, com 44 anos de plantio, recém-recepaado (29/08/2007) (Figura 7 e 8), mantendo-se de 4 a 5 brotos por cova e cada cova na maioria possui plantio duplo (2 plantas). A lavoura está instalada em espaçamento de 4 m entrelinhas e 1,5 m entre as covas.

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, com a aplicação dos tratamentos ocorrendo no dia 13/11/2007. As parcelas experimentais foram constituídos por 6 plantas (Figura 9). Os tratamentos utilizados foram de acordo com a dosagem de P₂O₅ e fonte, sendo:

- T1 = 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T2 = 53,3 kg P₂O₅ ha⁻¹ (200 g cova⁻¹) - fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T3 = 106,5 kg P₂O₅ ha⁻¹ (400 g cova⁻¹) – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T4 = 213 kg P₂O₅ ha⁻¹ (800 g cova⁻¹) – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T5 = 426 kg P₂O₅ ha⁻¹ (1600 g cova⁻¹) – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T6 = 852 kg P₂O₅ ha⁻¹ (3200 g cova⁻¹) – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T7 = 1704 kg P₂O₅ ha⁻¹ (6400 g cova⁻¹) – fonte termofosfato – Yoorin (Mitsui);
- T8 = 400 kg P₂O₅ ha⁻¹ (1333 g cova⁻¹) – fonte superfosfato simples – (Bunge);

A composição química do termofosfato da empresa Mitsui com nome comercial Yoorin Máster 1 S é 16,0% P_2O_5 total, destes 12,0% solúvel em ácido cítrico; 16,0% Ca; 6,0% Mg; 6,0% S; 0,1% B; 0,05% Cu; 0,15% Mn; 0,55% Zn e; 9,0% Si. A composição química do superfosfato simples utilizado é 18% P_2O_5 solúvel em ácido cítrico; 18% Ca e; 14% S.



Figura 7 – Lavoura a ser recepada. Guaxupé, MG



Figura 8 – Lavoura recém recepada. Guaxupé, MG



Figura 9 – Visão geral do experimento. Guaxupé, MG

3.4. Práticas culturais

Procedeu-se a capina das parcelas por meio de enxada na linha e roçada mecanizada na entrelinha. Para controle do bicho mineiro (*Leucoptera coffela*), foi feito à aplicação de 2 kg ha⁻¹ de Thiamethoxam (Actara 250 WG), principal praga do cafeeiro na região. A desbrota ocorreu nos dias 04/01 e 16/09 de 2008 deixando-se somente as hastes principais.

3.5. Avaliações

3.5.1. Análise dos atributos químicos do solo

Foi realizada a coleta das amostras de solo de cada tratamento no dia 16/09/2008, nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm em cada parcela.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG), as quais foram colocadas para secar ao ar, na sombra, e passadas em peneira com malha 2 mm de abertura (TFCA) . Os métodos, os quais foram empregados para analisar as amostras foram os seguintes (EMBRAPA,1997):

pH: em H₂O;C orgânico:método Walkley& Black(via umida com dicromato de K); Ca,Mg,Acidez Trocável: método KCL 1 mol L⁻¹ ; Acidez Potencial: método SMP ;

P,K,Zn,Mn,Fe e Cu disponível:método Mehlich (extrato sulfúrico) ; S disponível:método Hoefl et al. (BaCL2) ; B disponível: método água quente .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente experimento, verificou-se que nos tratamentos 4, 5 , 6 e 7 (200, 400, 800 e 1600 kg P₂O₅ há⁻¹ respectivamente) na profundidade de 0 – 10 cm, houve um efeito do termofosfato (tabela 1). Em função da presença de Cão, MgO e SiO₂ que geram uma condição alcalinizante que conseqüentemente neutraliza o Al e melhora o valor do pH (tabela 2).

Segundo Ribeiro (1999) o café tolera níveis de saturação de Alumínio de até 25% , exceto no tratamento no tratamento 1 e 2 (0 e 50 kg P₂O₅ há⁻¹) em todos os outros tratamentos a saturação de alumínio (m%) foi abaixo da tolerada pela cultura.

Tabela 1 – Teor de Al, H+Al e m% (saturação de Al) na camada de 0 – 10 e 10 – 20 cm em solo cultivado com cafeeiro recepado aos 300 dias após submetidos a duas fontes de P₂O₅ no município de Guaxupé, 2008

Tratamentos	Al		H+Al		m	
	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Kg P2O5 há-1	Cmolc dm3				%	
T1 (0) - Testemunha	1,03 a	1,18 a	6,90 a	6,95 a	36,70 a	45,20 a
T2 (50) – Term.	0,70 a	1,35 a	5,95 a	6,28 a	25,70 a	52,90 a
T3 (100) – Term.	0,60 a	1,20 a	5,40 a	6,73 a	21,48 a	48,03 a
T4 (200) – Term.	0,05 b	1,13 a	2,90 b	7,10 a	1,40 b	45,55 a
T5 (400) – Term.	0,00 b	1,20 a	2,40 b	7,03 a	0,00 b	47,93 a
T6 (800) – Term.	0,00 b	1,00 a	2,45 b	6,80 a	0,00 b	37,20 a
T7(1600) – Term.	0,00 b	0,68 a	1,80 b	5,35 a	0,00 b	26,28 a
T8 (300) - SFS	0,68 a	1,60 a	5,90 a	7,60 a	23,83 a	59,13 a
C.V.%	94,03	45,22	30,58	19,78	100,52	45,59

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan

O termofosfato na camada de 0 – 10 cm aumentou a soma e a saturação de bases (V%) e conseqüentemente diminuiu o teor de H + Al nos tratamentos 4, 5, 6 e 7. O V% considerado ideal para o cafeeiro é de 60% (RIBEIRO, 1999) e 70% (RAIJ, 1996). O CaO e o MgO eleva a S.B. e o V%, pois o SiO₂ libera cargas negativas do solo.

Tabela 2 – Soma de Bases (SB), Saturação de Bases (V%) e índice pH em duas profundidades em cafeeiros recepados aos 300 d.a.a submetidos a diferentes doses de P₂O₅ sob duas fontes no município de Guaxupé – 2008.

Tratamentos	SB		V		pH	
	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Kg P ₂ O ₅ há ⁻¹	cmolc dm ⁻³		%			
T1 (0) Testemunha	1,77 b	1,41 a	22,07 b	18,90 a	4,76 b	4,72 a
T2 (50) – Term.	2,21 b	1,28 a	27,52 b	18,65 a	4,93 b	4,66 a
T3 (100) – Term.	2,56 b	1,28 a	33,22 b	14,36 a	5,12 b	4,69 a
T4 (200) – Term.	4,81 a	1,48 a	63,05 a	19,03 a	6,05 a	4,70 a
T5 (400) – Term.	5,35 a	1,31 a	68,15 a	16,80 a	6,25 a	4,69 a
T6 (800) – Term.	6,18 a	1,80 a	71,52 a	23,38 a	6,44 a	4,86 a
T7(1600) – Term.	6,14 a	2,37 a	77,30 a	32,20 a	6,60 a	5,11 a
T8 (300) - SFS	2,32 b	0,90 a	29,12 b	10,70 a	4,98 b	4,41 a
C.V%	23,14	57,20	24,36	65,13	7,37	7,77

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan

Quanto maior a dose de termofosfato, maior será o teor de SiO₂, conseqüentemente maior será a elevação do pH.

O pH sofreu influencia dos componentes do termofosfato como o CaO, MgO e o SiO₂ que reagiu com o H⁺ do solo liberando água e gás carbônico. O Al foi insolubilizado na forma de hidróxido, aumentando o pH do solo, esse comportamento pode ser avaliado nas maiores doses de P₂O₅ utilizando como fonte o termofosfato, exceto no tratamento 1, 2 e 3 (0, 50 e 100 kg P₂O₅ há⁻¹ respectivamente) e também no tratamento 8 (300 kg P₂O₅ ha⁻¹) onde se utilizou com fonte o Superfosfato simples.

Já na profundidade de 10 – 20 cm não houve diferença estatística nos teores avaliados, devido a baixa mobilidade de p no solo, espera-se que na continuação do experimento se possa fazer mais avaliações sobre P na camada de 10 – 20 cm.

5. CONCLUSÕES

- Conclui-se que o termofosfato em altas doses tem influencia sobre os atributos químicos do solo como pH, S.B., m%, V%, Al e H+Al.
- O termofosfato como fonte de P, teve uma maior influencia nos atributos químicos do solo do que o Superfosfato Simples.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas por J.C. Alcarde. São Paulo, ANDA, 2005 24p. (ANDA, Boletim Técnico, 6) Disponível em: <http://www.anda.org.br/boletins/boletim_06.pdf>. Acesso em: 22 de novembro de 2008

ALBUQUERQUE, C.. **O fósforo e a vida.** Brasília: IBRAFOS, 1986. 463 p.

BARROS JÚNIOR, M. C. **Perdas de fósforo:** como minimizar. 2003. n.164. Manah Informativos. Disponível em: <<http://www.manah.com.br/informativos.asp?idl=11>>. Acesso em: 4 /10/2008.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 46-49. (Boletim, 100).

COELHO, F.S.; VERGENLIA, F. **Fertilidade do solo.** 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

COOPERATIVA REGIONAL DOS CAFEICULTORES EM GUAXUPÉ LTDA. (COOXUPÉ). **Meteorologia.** Guaxupé – MG, 2008. Disponível em : <[https:// www.cooxupe.com.br/meteorologia/](https://www.cooxupe.com.br/meteorologia/)> Acesso em: 01/12/2008.

ECKERT, D.J. Soil test interpretations: basic cation saturation ratios and sufficiency levels. In: BROWN, J.R. (Ed.) Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation. **Soil Science Society of America**, Madison. 1987. p.53-64.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo:** manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 212.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Brasília, 1999. 412p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FAGERIA, N. K.; SOUZA, N. P. **Resposta das culturas de arroz e feijão em sucessão a adubação em solo de cerrado.** Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.30, p.359-368, 1995.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas.** Brasília : EMBRAPA, 1999. 294p.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GUARDANI, R. ; RODRIGUES, J. C. ; COSTILLES, B. . Produção de termofosfatos: estudo de economicidade. **Fertilizantes**, v. 5, n. 3, p. 5-9, 1983.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Nutrição Mineral do Cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; RIBEIRO FILHO, G.C.; TOLEDO, P.M.R.; RIBEIRO, L.F. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, n. 73, 1o trimestre, p. 52-61, 2007.

GRANT,C.A. , FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, Setembro/2001.

LOPES, A. S. **Solos sob Cerrados**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.

LOPES, A. S. **Manual de Fertilidade do Solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989 . 153p.

LOPES, A. S. **Acidez do solo e calagem**. 3. ed. São Paulo, 1990. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. Apresentação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**: recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa-MG, 1999. Cap. 4, p. 21-24.

LOPES, A.S. ; GUILHERME L.R. G. Interpretação de análise de solo conceitos e aplicações. **Boletim Técnico**, n. 2, 1992.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

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

MCLEAN, E. O. Contrasting concepts in soil test interpretation: Sufficiency levels of available nutrients versus basic cation saturation ratios.. In: Stelly, M. (ed.) Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. **American Society of Agronomy**, Madison, 1977. p.39-54.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; Neves, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2. ed. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 46-49. (Boletim, 100).

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B.V.; ROSAND, P. C. ; LOBATO, E. Adubação Fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, Antônio Jorge. **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. 382p.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba : Instituto Potassa & Fosfato, 1981. 142p.

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