

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

**Fontes e doses de fósforo na formação de mudas e produção do  
cafeeiro**

**Rafael Tadeu de Assis**

**Dissertação apresentada para obtenção do  
título de Mestre em Ciências. Área de  
concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba  
2010**

**Rafael Tadeu de Assis  
Engenheiro Agrônomo**

**Fontes e doses de fósforo na formação de mudas e produção do  
cafeeiro**

**Orientador:  
Prof. Dr. JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração:  
Fitotecnia**

**Piracicaba  
2010**

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

Assis, Rafael Tadeu de  
Fontes e doses de fósforo na formação de mudas e produção do cafeeiro / Rafael Tadeu de Assis. - - Piracicaba, 2010.  
64 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.  
Bibliografia.

1. Café - Crescimento e desenvolvimento 2. Fosfatos 3. Fósforo 4. Microbiologia 5. Mudas (Nutrição vegetal) I. Título

CDD 633.73  
A848f

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



*À Deus por agradecer-me com saúde, paz, uma família maravilhosa  
e pela presença constante em minha vida, permitindo-me alcançar  
mais uma vitória.*

**OFEREÇO**



## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e paz.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Laércio Favarin, pelo grande incentivo, pela confiança em mim demonstrada, pela compreensão e pelo profissionalismo, sabendo como ninguém desempenhar a função de professor e orientador.

À empresa Embrafós pela doação dos fertilizantes para que pudéssemos realizar os experimentos e apoio para que todas as etapas do trabalho fossem desenvolvidas em tempo.

Ao grande amigo e companheiro de viagem Layer Garcia Filho (Layrzinho) pela companhia nas viagens e por todo aprendizado a mim proporcionado. Pelas ajudas nas viagens e nas análises e pela experiência de vida, serei eternamente grato.

Ao senhor Guilherme Carneiro proprietário da Fazenda Platô Azul por disponibilizar a área experimental. Agradeço também a todos os funcionários da fazenda, e em especial ao Engenheiro Agrônomo Aldair Ribeiro pelo auxílio em todas as fases de realização do experimento de campo.

Aos amigos de república Halan Vieira (Jovinho), Mario (Foca) e Tiago Tezotto (Sauipe), pelos ótimos momentos no Tarumã. E por todos os momentos durante o maravilhoso período vivido em Piracicaba.

A Ariana pela paciência, carinho, companheirismo e presença nesta etapa de minha vida.

A minha Irmã Josiane, pela enorme ajuda nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos colegas da Sala 7 do Departamento de Produção Vegetal (salinha): Ana Paula, Guy Tsumanuma, Halan Vieira, Carlos Ragassi, Paula Salgado, Rodrigo Estevam, Tiago Tezotto, Adriene Woods e Priscila Oliveira pela cooperação, pelos momentos de trabalho e descontração.

Aos amigos Tiago Tezotto, Ana Paula, Halan Vieira, Paula Salgado, Adriene Woods e Priscila Oliveira pela grande ajuda nos momentos finais...

Ao amigo João Rubens Pereira Junior, pela ajuda nas de coletas e avaliações no campo.

Ao Prof. Giovane Barroti por me receber de portas abertas e também pela convivência e pela oportunidade de utilizar seu laboratório.



A equipe do laboratório Micellium Eliana Silvério, Valéria Santinon, Fernanda Saraiva, Carolina Barroti, Adriana Barroti, Miriam Trindade, Milena Trindade, Milena Carvalho e Nayara. Pela enorme ajuda e colaboração durante a realização das análises.

A todos os funcionários do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Em especial ao Sr Celestino.

À Divisão de Biblioteca e Documentação da ESALQ/USP, em especial à Sílvia Maria Zinsly, pela atenção, revisão e adequação do trabalho às normas.

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

A todos aqueles que, embora não citados aqui, sabem que contribuíram em alguma etapa da minha vida.

A todos, o meu MUITO OBRIGADO!!!



"Vini, Vidi, Vinci"

Júlio César 47 a.C.



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1 A importância do fósforo para as plantas .....	23
2.2 Fósforo no solo.....	25
2.3 Fósforo e micro-organismos solubilizadores .....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.1 Respostas a fontes e doses de fósforo de mudas de cafeeiro .....	31
3.1.1 Localização do experimento .....	31
3.1.2 Material Biológico .....	31
3.1.3 Semeadura e transplante .....	31
3.1.4 Atributos do solo.....	32
3.1.5 Tratamentos .....	32
3.1.6 Avaliações do solo.....	34
3.1.7 Avaliações nas plantas.....	34
3.1.7.1 Massa de matéria seca .....	34
3.1.7.2 Taxa de crescimento absoluto.....	34
3.1.8 Análises estatísticas .....	35
3.2 Respostas a fontes e doses de fósforo de cafeeiro em produção .....	35
3.2.1 Descrição do Experimento .....	35
3.2.2 Material biológico.....	36
3.2.3 Características climáticas da área experimental .....	36
3.2.4 Atributos do solo da área experimental .....	37
3.2.5 Atributos químicos do solo .....	37
3.2.6 Tratamentos .....	38
3.2.7 Delineamento .....	39
3.2.8 Avaliações .....	39
3.2.8.1 Estado nutricional das plantas.....	39
3.2.8.2 P-resina .....	39
3.2.8.3 Produtividade.....	40

3.2.8.4 Análises estatísticas .....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4.1 Respostas a fontes e doses de P de mudas de cafeeiro .....	41
4.1.1 P-resina .....	41
4.1.2 Taxa de crescimento absoluto .....	46
4.2 Respostas a fontes e doses de P de cafeeiro em produção .....	49
4.2.1 Teor P-resina .....	49
4.2.2 Produtividade de grãos .....	50
5 CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS .....	57

## RESUMO

### Fontes e doses de fósforo na formação de mudas e produção do cafeeiro

O fósforo (P) que é um nutriente pouco disponível em solos tropicais devido a sua deficiência natural e também por causa da imobilização do mesmo em constituintes do próprio solo, formando fosfatos insolúveis e assim indisponíveis as plantas. A solubilização destes fosfatos inorgânicos é uma estratégia para aumentar a disponibilidade deste nutriente no solo. Uma forma seria a utilização de microrganismos solubilizadores de P que deixam este nutriente disponível às plantas. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivos: (i) avaliar o crescimento do cafeeiro em função das fontes e doses de  $P_2O_5$ ; (ii) determinar o fósforo disponível e (iii) avaliar o estado nutricional do cafeeiro, em função da fonte e dose de  $P_2O_5$ . O desenvolvimento das mudas de cafeeiro é superior com o uso de fonte de P solúvel, em relação à fonte de solubilidade gradual, independentemente da dose. A determinação da capacidade de substituição da fonte solúvel pela fonte de solubilidade gradual depende do tempo de reação no solo, cuja máxima equivalência é igual a 84 %, aos 180 dias após a aplicação do fertilizante (MSF). Em solos com teor de P disponível suficiente para a cultura do cafeeiro é viável a substituição de uma fonte solúvel (SFS) por outra de baixa solubilidade associada à micro-organismos (MSF).

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; superfosfato simples; micro-organismos solubilizadores de fosfato; P-resina; taxa de crescimento





## ABSTRACT

### Sources and phosphorus levels in seedlings and coffee production

Phosphorus (P) which is a little available nutrient in tropical soils due to their disability and also because natural impoundment of the same constituents in the soil itself, forming insoluble phosphates and thus unavailable to plants. The solubilization of inorganic phosphate is a strategy to increase the availability of this nutrient in the soil. One way would be to use P-solubilizing microorganisms that make nutrients available to plants that. Thus, this study aimed to: (i) evaluate the growth of coffee as a function of the sources and levels of  $P_2O_5$ , (ii) determine the available phosphorus and (iii) assess the nutritional status of coffee, depending on the source and dose of  $P_2O_5$ . The development of coffee seedlings is higher with the use of soluble P source, in relation to the source of gradual solubility regardless of dose. The determination of the replacement capacity of the water soluble source of gradual solubility depends on the reaction time in the soil, whose maximum equivalence is equal to 84% at 180 days after fertilizer application (MSF). In soils with a sufficient level of available P for the cultivation of coffee is feasible to replace a water soluble (SFS) for another low solubility associated with micro-organisms (MSF).

Keywords: *Coffea arabica* L.; superphosphate; micro-organisms solubilizing phosphate; P-resin; growth rate



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Casa de vegetação e distribuição aleatória dos vasos com as mudas transplantadas .....	31
Figura 2 -	Detalhe do local onde foi realizado o experimento de campo em aérea da fazenda Platô Azul no município de Tiros – MG .....	35
Figura 3 -	Vista do experimento, localizado na Fazenda Platô Azul, município de Tiros – MG .....	36
Figura 4 -	Precipitação mensal e temperatura máxima e mínima da região de Tiros – MG (Tempo Agora, 2009) .....	37
Figura 5 -	– Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) na dose $62,5 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$ .....	44
Figura 6 -	Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) nas doses de $125 \text{ mg dm}^{-3}$ e $250 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$ .....	45
Figura 7 -	Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) na dose $500 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$ .....	46
Figura 8 -	Taxa de crescimento absoluto (TCA) das mudas de cafeeiro e correlação da TCA entre as fontes MSF e SFS em função das doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ nos primeiros 60 dias após a adubação (janeiro/2009) .....	47
Figura 9 -	Taxa de crescimento absoluto (TCA) das mudas de cafeeiro e correlação da TCA entre as fontes MSF e SFS em função das doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ entre 60 e 180 dias após a adubação (maio/2009) ....	48
Figura 10 -	Produtividade de grãos em função de fontes e doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ .....	51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise química do solo utilizado no experimento .....	32
Tabela 2 -	Composição granulométrica e textura do solo utilizado no experimento .....	32
Tabela 3 -	Composição dos tratamentos em função das fontes e doses de P ..	33
Tabela 4 -	Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos .....	33
Tabela 5 -	Composição granulométrica e textura do solo da área experimental em Tiros – MG .....	37
Tabela 6 -	Análise química do solo da área experimental em Tiros – MG .....	38
Tabela 7 -	Relação das fontes de fósforo utilizadas e suas respectivas dosagens, Tiros, realizada em 2008 .....	38
Tabela 8 -	Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos do experimento em Tiros, MG, realizada em 2008 .....	39
Tabela 9 -	Análise de variância e coeficiente de variação para teores de fósforo disponível (P-resina), em função da fonte de P e doses do nutriente .....	41
Tabela 10 -	Fósforo disponível (P-resina) em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação .....	42
Tabela 11 -	Massa de matéria seca em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação .....	43
Tabela 12 -	Análise de variância e coeficiente de variação para teores de fósforo disponível (P-resina) no solo .....	49
Tabela 13 -	Fósforo disponível (P-resina) em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação .....	50
Tabela 14 -	Análise da variância e coeficiente de variação para produtividade de grãos em função das fontes e doses de P .....	51

Tabela 15 -	Resumo da análise da variância e coeficiente de variação para os teores de fósforo foliar para cafeeiros em função das fontes e doses de P .....	52
Tabela 16 -	Concentrações de fósforo foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) para cafeeiros em função das fontes e doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas difundidas no Brasil com grande importância econômica e social. Para melhorar a eficiência produtiva da cultura é fundamental a busca por novas tecnologias, em particular aquelas relacionadas com a adubação do cafeeiro, em razão da elevada participação dos fertilizantes no custo de produção.

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais investigados na literatura, sendo imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas. Esse nutriente é constituinte de importantes compostos das células vegetais, os quais incluem os fosfatos presentes nas moléculas de açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, e nos fosfolípidos presentes nas membranas vegetais. É também componente de nucleotídeos e usado no metabolismo energético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004), que têm seu crescimento dependente da concentração de fósforo (P) na solução do solo.

Nos solos do Brasil, de modo geral, o P é o elemento que mais limita a produção. Segundo dados de Malavolta (2006), em 90% das análises de solo feitas no país determinaram-se baixos teores de P disponível. A maior parte do P aplicado nos solos sofre diversas interações com os colóides ficando adsorvido e, conseqüentemente, menos disponível às plantas. Tal fato pode ser explicado, pelos inúmeros processos biogeoquímicos que alteram a sua disponibilidade, como adsorção com alumínio e ferro presente na solução ou nos minerais do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; WHITELAW, 2000). Em razão da retenção do P no solo a eficiência de uso é, de maneira geral, inferior a 30%.

A utilização de produtos que contenham micro-organismos solubilizadores de fosfatos consiste em uma alternativa para substituição total ou parcial do uso de fertilizantes fosfatados solúveis, pelo aproveitamento do fósforo naturalmente existente ou aquele adsorvido após a adição de fontes solúveis e/ou insolúveis (NAHAS, 1996; BARROTI; NAHAS, 2000; KIM et al., 2003).

A necessidade de grandes quantidades de P para correção da fertilidade dos solos tropicais e a ausência de reservas abundantes de rochas fosfáticas de maior

solubilidade no Brasil, justificam estudos que visam comparar diferentes fontes e doses de fósforo na cultura do cafeeiro.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a equivalência entre uma fonte de fósforo solúvel e uma de solubilidade gradual associada à micro-organismos solubilizadores de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro arábica.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A importância do fósforo para as plantas

A concentração de P nas plantas geralmente varia entre 10 e 50 g kg<sup>-1</sup> e essas absorvem a maior parte do P como ânion monovalente – ortofosfato biácido – H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, e, em menor proporção, como ânion bivalente – ortofosfato monoácido - HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. O pH do solo influi, em grande parte, na proporção em que estas duas formas de P estão disponíveis para absorção pela planta. O ânion monovalente H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH abaixo de 7, enquanto o ânion bivalente HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH acima de 7. (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As plantas também absorvem compostos orgânicos solúveis de baixo peso molecular (por exemplo, ácido nucléico e fitina), que são produtos da decomposição da matéria orgânica do solo (HAVLIN et al., 2005). O fósforo participa dos ácidos desoxi (DNA) e ribonucléicos (RNA), que contêm o código genético das plantas para produção de proteínas e outros compostos essenciais para estruturação das plantas, produção de sementes e transferência genética (RICHARDS; JOHNSTON, 2001). Ressalta se também sua importância no crescimento do sistema radicular, ampliando a área de exploração das raízes no solo e, conseqüentemente, a eficiência de absorção de nutrientes e água pelas plantas (BAHL; PARISCHA, 1998).

A energia proveniente da fotossíntese e do metabolismo de carboidratos é estocada em compostos fosfáticos para subsequente uso nos processos vegetativos e reprodutivos. Como resultado, a deficiência de P está associada com a restrição do crescimento e desenvolvimento das plantas (GRANT et al., 2001).

O crescimento e o desenvolvimento de plantas quando em deficiência de P são menores desde os estádios iniciais da plântula e, dependendo da severidade, podem atingir o desenvolvimento das sementes ou frutos. Sob condições limitantes de P, as plantas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, em conseqüência, é explorado um pequeno volume de solo, o que resulta em acesso restrito a água e nutrientes (STAUFFER; SULEWSKI, 2003).

Segundo Guerra et al. (2007), o menor vigor das plantas do cafeeiro após o florescimento está associado à deficiência de P, que pode ser visualmente observada em dois momentos bem distintos: no mês de fevereiro, início do enchimento de grãos e formação de novas gemas reprodutivas; e no período de floração, em setembro. O mesmo autor ainda menciona que no local onde se concentra a aplicação de  $P_2O_5$  há crescimento vigoroso de raízes absorventes superficiais.

A importância do P na fase juvenil do cafeeiro está relacionada com a capacidade de aumentar significativamente o sistema radicular. Segundo Amaral et al. (2000), o P aplicado no plantio do cafeeiro promove maior desenvolvimento inicial das plantas. A produção do cafeeiro depende, dentre outros fatores, do suprimento e da intensidade de absorção dos nutrientes pelas raízes. O conhecimento do período de maior exigência dos nutrientes minerais pela planta é uma importante informação para melhorar a eficiência das práticas de adubação (LAVIOLA et al., 2007).

A exigência de P pelo cafeeiro em produção é pequena, se comparada à de N e K (MALAVOLTA, 1980), no entanto o uso de fósforo no desenvolvimento das mudas é fundamental (NEVES et al., 1990).

Em substratos com deficiência deste nutriente, as mudas mostram desenvolvimento irregular tanto da parte aérea quanto do sistema radicular (MAY, 1984). Franco (1983) comprovou a importância do P no desenvolvimento das raízes do cafeeiro e, segundo Coelho (1973), o P favorece a formação e o crescimento, especialmente das raízes secundárias, fato que contribui para o melhor aproveitamento de nutrientes, principalmente aqueles que dependem da difusão para o contato íon-raiz.

Por se tratar de um dos nutrientes que mais limita a produção vegetal no Brasil, a elevação de sua disponibilidade é um dos grandes desafios no manejo da fertilidade do solo.

O estímulo ao crescimento radicular em decorrência de um suprimento localizado de fósforo tem sido atribuído ao aumento de suas taxas de absorção e translocação no segmento da raiz tratado com o nutriente até a parte aérea (MARCUIZZO et al., 2002).

Por causa da alta mobilidade do P na planta, sob condições de carência os sintomas aparecem primeiramente em folhas mais velhas, das quais o elemento migra para as mais novas (MALAVOLTA, 2006). Nessa condição, as folhas velhas perdem o

brilho e apresentam manchas amareladas desuniformes, que evoluem, devido ao acúmulo de antocianina, para cores vermelho-arroxeadas, podendo progredir para todo o limbo foliar. Ocorrem, ainda, desfolha e redução das principais raízes de absorção (MATIELLO et al., 2005).

## 2.2 Fósforo no solo

Sob o ponto de vista da nutrição das plantas, as três principais frações do P no solo são: P na solução do solo, P mantido sob a forma lábil e o P da fração não lábil. O P lábil corresponde ao adsorvido a superfície dos minerais de argila, hidróxidos, carbonatos, apatitas, bem como os fosfatos de Fe e Al (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Apesar do suprimento natural de P ser insatisfatório ao adequado crescimento das plantas, seu teor total no solo pode variar de 200 a 3.000 mg kg<sup>-1</sup>, segundo Novais e Smyth (1999). Essas grandes variações na quantidade de P total dos solos das regiões tropicais são devidas ao material de origem, ao processo de gênese e às condições climáticas. No Brasil, grande parte do P total encontra-se na forma de P-não lábil, por isso, solos com 200 a 300 mg dm<sup>-3</sup> de P total podem ser extremamente deficientes para as culturas, pois há pouca quantidade na fração lábil e menos de 0,1% desse total está presente na solução do solo (GOEDERT et al., 1987; FARDEAU, 1996). Além disso, o teor e o tipo de argila, a capacidade de troca de cátions (CTC), o poder tampão, a adsorção de Ca e de P, o teor de matéria orgânica e a umidade afetam a solubilização de P no solo (ROBINSON; SYERS, 1990).

Os solos tropicais apresentam-se, em geral, associados com: pH baixo, quantidades elevadas de hidróxidos de Fe e Al e de cargas eletropositivas responsáveis pela adsorção de P. Em pH baixo há aumento das quantidades de Fe e Al solúveis, resultando na elevada precipitação do P do solo. O P adsorvido e precipitado em compostos insolúveis, que não estão em equilíbrio com o P solução, representa o P não lábil (NOVAIS; SMYTH, 1999; ALVAREZ et al. 2000). A eficiência de extratores na predição do P disponível e o uso de níveis críticos para recomendação da adubação fosfatada são temas de permanente interesse em fertilidade do solo.

O preparo convencional do solo favorece um maior contato entre o íon fosfato e a superfície dos colóides, permitindo maior adsorção do P pelo solo e a redução de sua

disponibilidade as plantas; esta adsorção relaciona-se com a fração argila dos solos, particularmente quando há predomínio de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Nestes colóides, a formação de cargas negativas é dependente do pH e em condições de acidez, a elevada afinidade do íon fosfato pela superfície dos colóides inorgânicos favorece o mecanismo de adsorção específica (RAIJ, 1991). O aumento do pH torna a carga superficial de partículas do solo mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, tendo como consequência menor adsorção de P.

Em estudo sobre o efeito do pH na adsorção do P, na ausência e presença de calcário, Ferreira et al. (2007) concluíram que os solos que receberam calcário e P, simultaneamente, apresentaram-se estatisticamente iguais aos solos que receberam somente P, devido ao fato de que o calcário adicionado ao mesmo tempo com o P, favorece o processo de precipitação do P por compostos de Ca. Segundo Moreira et al. (2006), as características do solo mais diretamente correlacionadas com a adsorção de P foram o teor de matéria orgânica e a CTC. Os pesquisadores observaram ainda que a adsorção de P na fração areia pode ser atribuída à matéria orgânica ou a resíduos de óxidos de Fe livres. À medida que se adiciona periodicamente P via fertilização, o solo aproxima-se gradualmente de seu caráter fonte a partir da diminuição da energia de ligação das partículas do solo com o P. De forma recíproca, com a ausência de fertilizações essa energia aumenta. Portanto, em áreas cultivadas com café, a chance de existir teores residuais que mantenham a capacidade produtiva da cultura aumenta pelo uso intenso de fertilizantes fosfatados nessa cultura ao longo do ciclo da cultura. No entanto, esse efeito residual é dependente da capacidade tampão de fosfato do solo. Segundo Novais e Smyth (1999), os baixos teores de P disponível nos solos tropicais são provavelmente a maior causa dos menores índices de produtividade das culturas.

Dentre as alternativas que possibilitam a melhoria na eficiência de aproveitamento das fontes de fósforo, destaca-se a ação dos micro-organismos solubilizadores que aumentam a disponibilidade do P no solo e contribuem para a nutrição vegetal, promovendo o crescimento da planta e a produtividade das culturas (SILVA FILHO et al., 2002).

### 2.3 Fósforo e micro-organismos solubilizadores

Existe um considerável número de trabalhos que estão sendo desenvolvidos em um esforço de encontrar alternativas para suprir as necessidades de fósforo pelas plantas a um custo menor (BARROTI; NAHAS 2000).

A maior parte do P aplicado ao solo fica retida em suas partículas, acumulando-se, com o tempo, na forma de fosfato inorgânico insolúvel, que são estáveis e a solubilidade diminui com a idade (RAIJ, 2004). Estima-se que a quantidade de P acumulada nos solos agrícolas seria suficiente para sustentar a produção agrícola mundial por cerca de 100 anos sem a adição do P extra, desde que o P retido já aplicado nos solos tornasse disponível para as culturas (GOLDSTEIN et al.,1993).

Dentre as alternativas que possibilitam a melhoria na eficiência das fontes de fósforo, destaca-se a ação dos micro-organismos solubilizadores que aumentam a disponibilidade do P no solo e contribuem para a nutrição vegetal, promovendo o crescimento da planta e produtividade das culturas. Micro-organismos com capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis têm maior potencial para aproveitar o P presente na fase sólida do solo, constituindo-se em alternativa viável para inoculação em plantas. A eficiência da inoculação varia com o tipo de solo, o cultivar, micro-organismos utilizados e fatores ambientais, dentre outros. Entretanto, o conteúdo de fósforo no solo é, provavelmente, um dos fatores cruciais para determinar a eficácia dos micro-organismos (NAHAS, 1999).

Estudo realizado por Barroti e Nahas (2000) comprovou a existência de micro-organismos capazes de solubilizar fosfatos naturais e disponibilizá-los para as plantas. Neste caso, as bactérias solubilizadoras possuem capacidade de solubilizar fosfatos inorgânicos por meio da exudação de ácidos orgânicos.

De acordo com Siqueira (1996), existem evidências suficientes dos efeitos benéficos desses micro-organismos do solo e seus processos na nutrição e crescimento das plantas. Segundo Eira e Carvalho (1970), as bactérias solubilizadoras de fosfatos podem solubilizar fosfatos de cálcio, de ferro, de alumínio, de magnésio e outros fosfatos, além de matérias insolúveis usadas como única fonte de fósforo.

Por sua vez, as espécies vegetais, mediante efeito rizosférico diferenciado, também influenciam e favorecem as populações de solubilizadores e, assim, estas

podem contribuir de maneira mais significativa para a nutrição vegetal (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Sylvester-Bradley et al. (1982), na rizosfera de gramíneas como *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa* é encontrada menor incidência de solubilizadores, enquanto nas leguminosas *Zornia* sp. e *Desmodium ovalifolium*, encontraram-se as maiores quantidades desses micro-organismos. A inoculação pode introduzir alterações nas populações do solo, que podem aumentar a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento e rendimento das culturas.

A capacidade dos micro-organismos solubilizar fosfatos inorgânicos insolúveis tem sido atribuída a capacidade destes em reduzir o pH ao seu redor (NAHAS, 1999). Segundo Whitelaw (2000) o abaixamento do pH promove maior solubilização de fosfatos inorgânicos insolúveis tais como  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$  e  $\text{FePO}_4$ .

Neste contexto, têm-se duas teorias sobre os mecanismos de solubilização: a teoria da exsudação de ácidos orgânicos (CUNNINGHAM; KUIACK, 1992; HARIPRASAD; NIRANJANA 2009), e a teoria da extrusão de prótons ( $\text{H}^+$ ) (ILLMER; SCHINNER, 1992; ILLMER et al., 1995), na qual a acidez gerada seria a principal fator favorecedor da solubilização do P.

A teoria da exsudação de ácidos orgânicos mostra que as fontes de fosfatos inorgânicos insolúveis são solubilizadas pelos micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF). por meio da produção de ácidos orgânicos que tanto podem diminuir o valor do pH quanto atuar como agentes quelantes dos metais acompanhante do íon fosfato (Ca, Al e Fe) (BOLAN et al., 1994; NAHAS, 1999; LIN et al., 2006). Assim, o fosfato inorgânico insolúvel é convertido a fosfatos solúveis ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), os quais se tornam disponíveis para as plantas. Nesta teoria, a oxidação da glicose (por meio da enzima glicose desidrogenase - GDH), a ácido glucônico é oxidada a ácido 2-cetoglucônico (por ação da enzima ácido glucônico desidrogenase - GADH), resultando na acidificação da região ao redor da célula (KIM et al., 2003; SONG et al., 2008).

Estudos realizados por Lin et al. (2006), sobre a influência dos prótons ( $\text{H}^+$ ) liberados na oxidação do ácido glucônico, demonstraram claramente que a concentração de prótons em solução é um dos fatores mais importantes na solubilização de fosfatos por *Burkholderia cepacia*. Portanto, a solubilização de fosfatos

por meio da oxidação dos ácidos orgânicos, e conseqüente diminuição do pH, requer um suprimento adequado de  $H^+$ .

Além de complexar os cátions ligados ao fosfato, resultando na liberação de P, os grupos carboxílicos também competem com o ânion de P pelos sítios de adsorção, diminuindo assim, a fixação do P nas partículas do solo, o que aumenta sua disponibilidade para as plantas.

Alguns autores demonstraram que a quantidade de P solubilizada por microorganismos foi equivalente à produção de ácidos orgânicos no meio de cultura (HALDER et al., 1990; HWANGBO et al., 2003; CHUANG et al., 2007). Entretanto, para Illmer et al. (1995) não existe uma correlação linear e positiva da solubilização de fosfato com a quantidade de ácido orgânico produzido.

Neste contexto estes autores propuseram a teoria da extrusão de prótons ( $H^+$ ), uma vez que, apenas a produção de ácidos orgânicos não seria o único mecanismo de solubilização de fosfatos inorgânicos insolúveis. Eles observaram que a solubilização também é dependente dos mecanismos que envolvem o crescimento microbiano e que favorecem a extrusão de prótons ( $H^+$ ), resultantes da assimilação de  $NH_4^+$  ou pelo mecanismo de translocação do  $H^+$  pela ATPase, no processo de produção de energia devido a hidrólise do ATP. Em uma avaliação da solubilização de  $Ca_5OH(PO_4)_3$  por *Pseudomonas* sp. e *Penicillium aurantiogriseum*, observou-se que houve solubilização sem, necessariamente, haver produção de ácidos orgânicos (ILLMER; SCHINNER, 1992). A liberação de  $H^+$  acompanhada da absorção de  $NH_4^+$  estaria relacionada com a solubilização de fosfatos inorgânicos insolúveis (ILLMER et al., 1995; XIE, 2008). Vários trabalhos têm demonstrado que a quantidade de fósforo solubilizado em meio com amônio é maior do que em meio com nitrato (ASEA et al., 1988; NAUTIYAL, 1999; SRIDEVI et al., 2007; SHARAN et al., 2008)

Outros mecanismos devem existir, visto que correlações negativas significativas entre pH e P solúvel não foram encontradas por alguns autores (NAHAS, 1996; CHAIHARN; LUMYONG, 2009; JHA et al., 2009), evidenciando assim, que pode ocorrer solubilização sem, necessariamente, haver diminuição de pH.

Portanto, independente do mecanismo utilizado, pode-se presumir que um balanço entre os íons extruídos e absorvidos deve prevalecer, a fim de adequar o metabolismo interno microbiano a um equilíbrio iônico (NAHAS, 1999).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Respostas a fontes e doses de fósforo por mudas de cafeeiro

##### 3.1.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação (Figura 1) na área experimental do setor de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.



Figura 1 – Casa de vegetação e distribuição aleatória dos vasos com as mudas transplantadas

##### 3.1.2 Material Biológico

O experimento foi desenvolvido com mudas de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, colhidas em junho de 2008, na fazenda Platô Azul em Tiros, MG.

##### 3.1.3 Semeadura e transplante

A semeadura foi realizada em junho de 2008. Na ocasião, as sementes foram tratadas com o fungicida Pencicuirom ( $1,0 \text{ ml L}^{-1}$  de Moncerem PM) para evitar a infecção por fungos de solo. Após o tratamento, as sementes foram distribuídas sobre a superfície do germinador numa proporção de  $1 \text{ kg m}^{-2}$  e, em seguida, cobertas com 2 cm de areia. O germinador foi coberto utilizando sombrite (80%), com o objetivo de reduzir as perdas de água por evaporação e proporcionar temperatura favorável à germinação na sua superfície.

As sementes permaneceram em germinadores de areia até que as folhas cotiledonares se desprendessem do endosperma (estádio de “orelha de onça”). A partir dessa fase foi realizado o transplântio para o vaso.

Em cada vaso foram transplântadas três mudas e após quinze dias foi realizado desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso. Cada vaso preenchido com 5 dm<sup>3</sup> de solo (Figura 1) e aplicada a quantidade do fertilizante correspondente ao respectivo tratamento. Todos os vasos receberam os demais nutrientes em igual quantidade, conforme recomendado para cultura do cafeeiro.

### 3.1.4 Atributos do solo

O solo utilizado nos experimentos foi proveniente dos primeiros 20 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo não cultivado, coletado na cidade de Guaxupé, MG. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e, em seguida, peneirado (4 mm) e homogeneizado. A aplicação de calcário e gesso no solo foram realizadas com o objetivo de aumentar o pH e diminuir o alumínio. As análises química e física do solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados nas Tabelas (1 e 2).

Tabela 1 – Análise química do solo utilizado no experimento

Profundidade (cm)	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g kg <sup>-1</sup>	P <sub>(resina)</sub> <sup>2,3</sup> mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V %
0-20	5,4	32	8,2	26,4	36	12	38	74,4	112,4	66

Tabela 2 – Composição granulométrica e textura do solo utilizado no experimento

Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%)			Relação textural silte/argila	Textura
	Argila	Silte	Areia		
0-20	58	10	32	0,17	Argilosa

### 3.1.5 Tratamentos

Os tratamentos foram obtidos pela combinação de duas fontes (superfosfato simples - SFS e FF Organic - MSF) e cinco doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (62,5, 125, 250, 500 e 1000 mg dm<sup>-3</sup> e uma testemunha sem aplicação de fósforo, com três repetições (Tabela 3). O

FF Organic é um produto formado pela mistura de rocha fosfática, material orgânico e uma seleção de micro-organismos solubilizadores de rocha fosfática (MSF). Os micro-organismos solubilizadores presentes no MSF foram estudados por Barroti e Nahas (2000).

Tabela 3 – Composição dos tratamentos em função das fontes e doses de P

Tratamentos	Fonte de fósforo	Dose mg dm <sup>-3</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
T1	Sem aplicação de fósforo	-
T2	MSF	62,5
T3	SFS	62,5
T4	MSF	125
T5	SFS	125
T6	MSF	250
T7	SFS	250
T8	MSF	500
T9	SFS	500
T10	MSF	1.000
T11	SFS	1.000

As características químicas e físicas dos insumos utilizados no referido experimento estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos

Fontes	Características químicas			Constituição física
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	S (%)	
SFS	18	16	8	Granulado
MSF	17	13	-	Pó

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com onze tratamentos e três repetições. Cada repetição foi constituída por uma planta, perfazendo assim um total de 33 plantas.

### 3.1.6 Avaliações do solo

A cada 60 dias foi realizada uma amostragem do solo em cada vaso, coletando-se aproximadamente 200 g de solo para acompanhamento dos teores de fósforo resina. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, sendo em seguida peneirado (2 mm) e homogeneizado. A análise química do solo foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

### 3.1.7 Avaliações nas plantas

A massa de matéria seca e taxa de crescimento absoluto foram adotadas para avaliação do experimento em diferentes épocas e ao final do experimento.

Para medição destas variáveis utilizou-se um esquema de avaliações no tempo, as quais foram realizadas aos 60, 120, e 180 dias, nas seguintes datas: (1ª) avaliação - 11/01/2009; (2ª) avaliação - 11/03/2009; (3ª) avaliação - 11/05/2009.

#### 3.1.7.1. Massa de matéria seca

A massa de matéria seca foi obtida a partir da retirada da parte aérea e raízes das plantas de cada vaso, as quais foram lavadas em água corrente e secadas em estufa com circulação de ar a 65° C durante 72 horas. No final dessa operação foram determinadas as massas de matéria seca ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de todas as amostras.

#### 3.1.7.2 Taxa de crescimento absoluto

A taxa de crescimento absoluto (TCA) foi calculada, conforme descrito por Benincasa (1986), por meio da expressão (1):

$$\text{TCA} = (\text{MS2} - \text{MS1}) / \Delta t \quad (1)$$

em que: TCA ( $\text{g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) corresponde à taxa de crescimento absoluto das plantas; MS2 (g) a massa de matéria seca obtida na época 2; MS1 (g) a massa de matéria seca obtida na época 1 e  $\Delta t$  (dias) ao intervalo entre as amostragens (dias).

### 3.1.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F, e as medias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico “SAS” – System for Windows 9.1 (SAS INSTITUTE, 2000). Realizou-se a análise de regressão aos dados quantitativos aos níveis de P. A partir da detecção de diferenças significativas entre tratamentos e suas interações realizaram-se os desdobramentos e as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 3.2 Respostas a fontes e doses de fósforo de cafeeiro em produção

### 3.2.1 Descrição do Experimento

O experimento foi realizado no período de outubro de 2008 a outubro de 2009, na fazenda Platô Azul, município de Tiros, MG (Figura 2). O local do experimento encontra se a uma altitude média de 1.050 m, e a 18° 51' 40" de Latitude Sul e 45° 51' 39" de Longitude Oeste.



Figura 2 – Detalhe do local onde foi realizado o experimento de campo em aérea da fazenda Platô Azul, município de Tiros, MG

### 3.2.2 Material biológico

Os cafeeiros utilizados no experimento eram da espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, de quatro anos, em uma lavoura com 4.167 plantas por hectare, dispostas no espaçamento de 4,0 m x 0,60 m (Figura 3).



Figura 3 – Vista do experimento, localizado na Fazenda Platô Azul, município de Tiros - MG

### 3.2.3 Características climáticas da área experimental

Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Cwa, ou seja, temperado úmido com inverno seco e verão quente. A precipitação média anual da região é da ordem de 1.500 mm, com maior concentração das chuvas nos meses de outubro a abril (Figura 4).

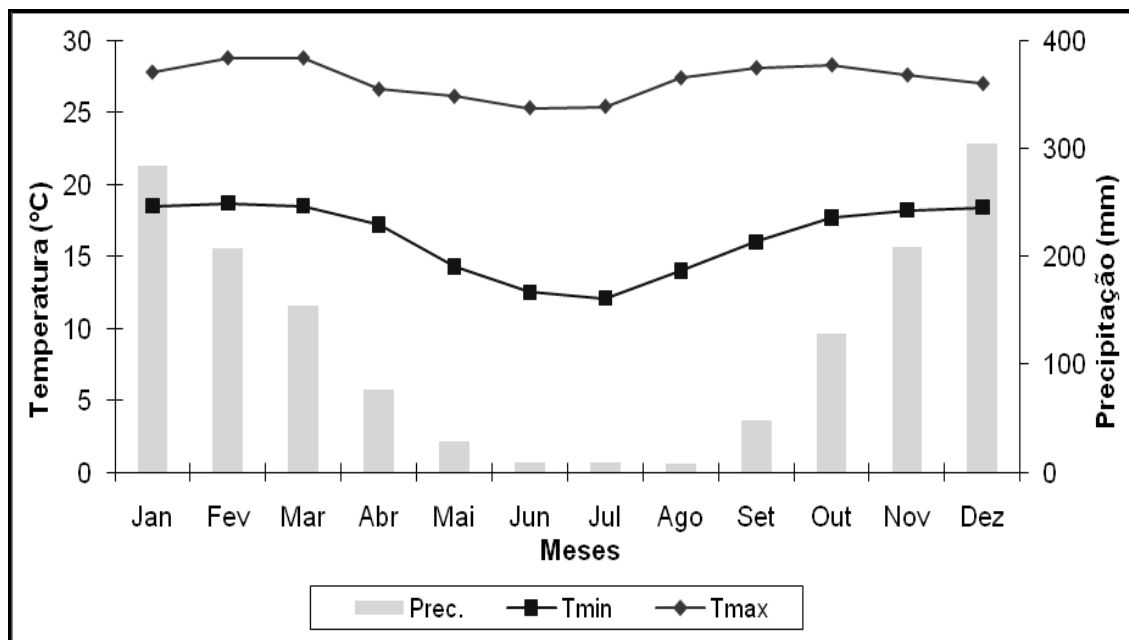


Figura 4 – Precipitação mensal e temperatura máxima e mínima da região de Tiros – MG (Tempo Agora, 2009)

### 3.2.4 Atributos do solo da área experimental

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999). Apresenta textura muito argilosa, fase cerrado tropical e relevo suave ondulado, conforme dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição granulométrica e textura do solo da área experimental em Tiros - MG

Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%)			Relação textural silte/argila	Classe textura
	Argila	Silte	Areia		
0-10	68	10	22	0,15	Muito argilosa
0-20	69	11	20	0,16	Muito argilosa
20-40	72	11	17	0,15	Muito argilosa

### 3.2.5 Atributos químicos do solo

Para caracterizar quimicamente o solo antes da instalação do experimento, realizou-se a amostragem em agosto de 2008, para a qual foi usado um trado holandês, coletando amostras aleatórias nas parcelas e em três camadas no perfil: 0 a 10 cm, 0 a



20 cm e 20 a 40 cm. Após secagem ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise química do solo da área experimental em Tiros - MG

Profundidade (cm)	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g kg <sup>-1</sup>	P <sub>(resina)</sub> <sup>3</sup> mg dm <sup>-3</sup>	mmol dm <sup>-3</sup>						V %
				K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	
0-10	4,9	59	33	5,9	28	8	47	41,9	88,9	47
0-20	5,6	50	24	5,3	40	14	42	59,3	101,3	59
21-40	5,1	41	25	4,0	23	9	47	36,0	83,0	43

### 3.2.6 Tratamentos

Os tratamentos foram formados a partir de duas fontes de P (superfosfato simples -SFS e FF organic - MSF), cinco doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (25, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem aplicação de P, com três repetições (Tabela 7).

Tabela 7 – Relação das fontes de fósforo utilizadas e suas respectivas doses, Tiros, realizada em 2008

Tratamentos	Fonte de fósforo	Dose - kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
T1	Sem aplicação de fósforo	-
T2	MSRF	25
T3	SFS	25
T4	MSRF	50
T5	SFS	50
T6	MSRF	100
T7	SFS	100
T8	MSRF	200
T9	SFS	200
T10	MSRF	400
T11	SFS	400

Os atributos químicos e físicos dos insumos estão apresentados na Tabela 8.



Tabela 8 – Atributos químicos e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos do experimento em Tiros, MG, realizada em 2008

Fontes	Características químicas			Constituição física
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	S (%)	
SFS	18	18	12	Granulado
MSRF	17			Pó

### 3.2.7 Delineamento

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, composto por 11 tratamentos, e três repetições, perfazendo um total de 33 parcelas. Cada parcela foi constituída de cinco plantas, as quais foram identificadas e numeradas para acompanhar o crescimento.

### 3.2.8 Avaliações

Adotou-se um esquema de avaliações no tempo, tendo-se diferentes épocas de avaliação para coleta destas variáveis, as quais foram realizadas aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias, nas seguintes datas: (1<sup>a</sup>) avaliação - 20/01/2009; (2<sup>a</sup>) avaliação - 20/03/2009; (3<sup>a</sup>) avaliação - 20/05/2009; (4<sup>a</sup>) avaliação - 20/07/2009; (5<sup>a</sup>) avaliação - 20/09/2009; (6<sup>a</sup>) avaliação - 20/11/2009.

#### 3.2.8.1 Estado nutricional das plantas

Para a avaliação do estado nutricional das plantas foram efetuadas amostragens de folhas, nas mesmas épocas das avaliações de crescimento. A cada 60 dias coletou-se o terceiro par de folhas do terço médio da planta (MALAVOLTA, 2006), de cada parcela experimental. Após a coleta, as folhas foram lavadas e secas em estufa com circulação de ar à 65° C, por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram moídas para a determinação da concentração de P-foliar.

#### 3.2.8.2 P disponível no solo (P-resina)

A cada 60 dias foram realizadas amostragens dos primeiros 20 cm de solo, coletando-se, aproximadamente, 400 g em cada parcela. Este procedimento foi realizado para avaliar o teor de fósforo disponível durante desenvolvimento do

experimento. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e passado em peneira com malha de 2 mm. A análise química foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Rajj et al. (2001).

### 3.2.8.3 Produtividade

Os frutos de cada planta da parcela foram colhidos por meio de derricha manual no pano em julho 2009. Em seguida realizou-se a quantificação em litros e quilogramas de “café da roça”. De cada parcela retirou-se uma amostra de 5 litros de café de todos os tratamentos, para proceder à secagem e beneficiamento, com a finalidade de determinar a produtividade em sacas por hectare.

Para uniformizar a umidade dos grãos de café, efetuou-se a determinação da massa e a umidade das amostras beneficiadas, as quais foram corrigidas para a umidade equivalente a  $110 \text{ g kg}^{-1}$  (11 %), conforme procedimento descrito na expressão (2):

$$MS (11\%) = PB (100 - UB)/(100 - 11) \quad (2)$$

em que: MS (11%) corresponde a massa de café beneficiado a 11% de umidade; PB a massa de café beneficiado na umidade natural; UB a umidade do café beneficiado.

### 3.2.8.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F, e as medias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico “SAS” – System for Windows 9.1 (SAS INSTITUTE, 2000). Realizou-se a análise de regressão aos dados quantitativos aos níveis de P. A partir da detecção de diferenças significativas entre tratamentos e suas interações realizaram-se os desdobramentos e as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Respostas a fontes e doses de P de mudas de cafeeiro

#### 4.1.1 P disponível no solo (P-resina)

De acordo com os dados da Tabela 9, houve diferença significativa para tratamentos, época de avaliação e a interação entre ambos. Assim, a discussão dos resultados será feita em relação aos dados da interação época *versus* tratamentos (fontes e doses de fósforo).

Tabela 9 – Análise de variância e coeficiente de variação para teores de fósforo disponível (P-resina), em função da fonte de P e doses do nutriente

Fonte variação	Teste F
Época	777.43*
Tratamento	406.19*
Época x Tratamento	60.72*
CV (%)	3.83

\*significativo pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

O teor de P disponível pelo extrator resina não variou com a fonte, quando a dose usada foi de  $62,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , independentemente da época avaliada (Tabela 10). A aplicação da menor dose aumentou o teor de fósforo em relação à testemunha somente a partir de 120 dias da adubação.

O fornecimento de  $125 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de SFS, aumentou o teor de P-resina a partir de 60 dias da adubação ( $13,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), enquanto para o MSF o mesmo ocorreu somente a partir de 120 dias ( $12,7 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Tal constatação indica que a disponibilização do P, mesmo de fonte solúvel, depende de tempo para a reação. A partir de  $250 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , a variação no teor de P no solo entre as fontes iniciou aos 60 dias e estendeu-se até 180 dias.

O teor de P disponível aumentou de 8,0 para  $21,0 \text{ mg dm}^{-3}$  aos 60 dias após a adubação pela aplicação de  $1000 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de MSF, enquanto para a mesma dose com SFS o aumento foi para  $69,6 \text{ mg dm}^{-3}$ , o que evidencia a rápida disponibilização do P da fonte solúvel. A quantidade de fósforo no solo de  $69,6 \text{ mg dm}^{-3}$

aos 60 dias diminuiu significativamente para 48,3 mg dm<sup>-3</sup> aos 180 dias, para a fonte SFS. Em relação à fonte MSF houve aumento do teor de P-resina nessa época (60 a 180 dias), em que a quantidade foi de 21,0 para 24,6 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 10). A elevada redução do P no solo pode ser explicada pelo grande acúmulo médio de massa de matéria seca das plantas tratadas com SFS (39,48 g planta<sup>-1</sup>) em relação ao que se verificou nas plantas tratadas com MSF (23,9 g planta<sup>-1</sup>) (Tabela 11). A rápida disponibilização do P para as plantas na fase de produção de mudas é fundamental para a formação do sistema radicular e desenvolvimento vegetativo (FRANCO, 1983).

O fornecimento de 1000 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com MSF equivaleram à aplicação de 250 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFS, pois os teores de P disponível após 180 dias foram semelhantes (Tabela 10).

Tabela 10 – Fósforo disponível (P-resina) em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação

Fontes	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg dm <sup>-3</sup>	Início	60 dias	120 dias	180 dias
		mg dm <sup>-3</sup>			
TesT	0	7,6aA	7,4dA	7,8eA	8,0gA
MSF	62,5	7,7aC	7,9dBC	12,8dA	11,2fAB
SFS	62,5	8,1aB	9,1dAB	12,2dA	11,8fA
MSF	125	8,1aB	9,4dAB	12,7dA	12,6efA
SFS	125	8,9aC	13,0cB	18,5cdA	15,9eAB
MSF	250	7,9aC	14,4cB	14,8dAB	18,1deA
SFS	250	8,8aC	20,2bB	26,0bA	25,2cA
MSF	500	8,9aC	16,1cB	19,0cAB	20,5dA
SFS	500	7,8aC	20,5bB	30,0bA	30,9bA
MSF	1000	8,0aC	21,0bB	20,9cB	24,6cA
SFS	1000	8,4aC	69,6aA	50,8aB	48,3aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste Tukey (p<0,05)

Tabela 11 – Massa de matéria seca em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação

Fonte	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg dm <sup>-3</sup>	Massa de matéria seca (g planta <sup>-1</sup> )		
		60 dias	120 dias	180 dias
Testemunha	0	3,02	3,94	15,74
MSF	62,5	3,38	7,82	22,12
SFS	62,5	4,45	7,89	29,73
MSF	125	3,26	9,71	19,09
SFS	125	4,70	18,47	54,63
MSF	250	4,32	10,71	17,89
SFS	250	6,57	18,51	36,39
MSF	500	5,05	14,95	32,95
SFS	500	7,65	18,88	51,26
MSF	1000	5,83	19,49	49,74
SFS	1000	8,99	19,92	57,75
<b>Média MSF</b>		<b>4,37</b>	<b>12,54</b>	<b>28,36</b>
<b>Média SFS</b>		<b>6,47</b>	<b>16,74</b>	<b>45,95</b>

Para o teor de P resina em relação às épocas de avaliação (0, 60, 120 e 180 dias) verificou-se resposta diferenciada entre as fontes de fósforo dentro da mesma dose (Figura 5). Quando foi usada a fonte pouco solúvel (MSF), na dose de 62,5 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, não se observou solubilização de P nos primeiros 60 dias. Todavia, houve solubilização entre 60 e 120 dias, aumentando o teor de P nos solos substancialmente e sem apresentar diferença após esta época até 180 dias. Com o uso de 62,5 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> houve solubilização, principalmente, entre 60 a 120 dias, tempo necessário para a ação dos organismos solubilizadores. Por sua vez, pelo uso da mesma dose de P (62,5 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) com fonte solúvel (SFS) constatou-se aumento do teor de P resina entre 60 e 120 dias, semelhante ao que aconteceu com MSF. Tanto para a fonte MSF quanto para SFS a ausência de diferença entre as duas últimas avaliações (120 e 180 dias) pode ser explicada pelo consumo de P disponível, devido ao desenvolvimento das mudas de cafeeiro (Tabela 10).

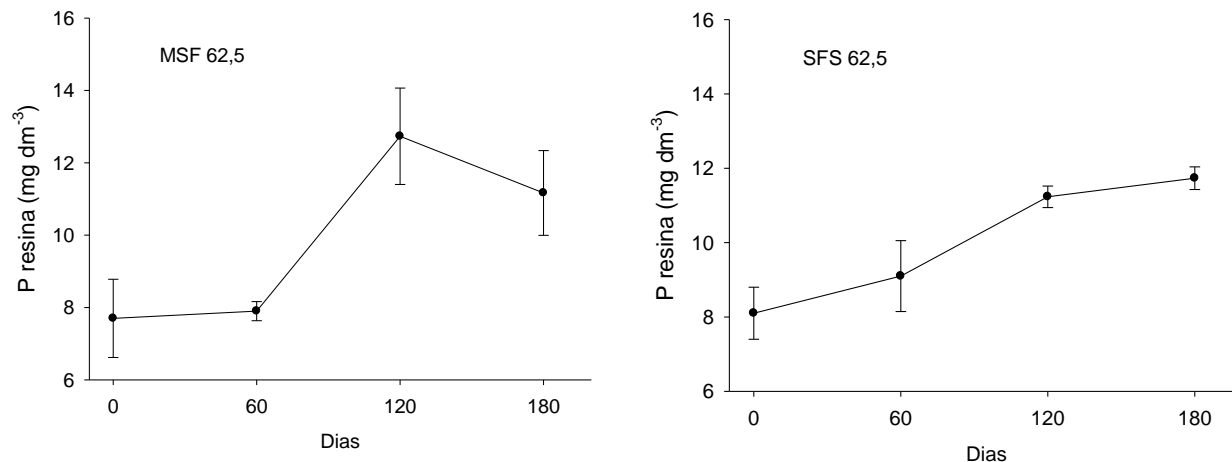


Figura 5 – Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) na dose  $62,5 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$

Para a dose de  $125 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  constatou disponibilização significativa apenas no intervalo entre 60 e 120 dias (Figura 6), como já observado com a dose de  $62,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Ressalte-se, no entanto, que em relação à fonte SFS, a resposta ocorreu a partir dos 60 dias após a adubação, diferentemente do ocorrido na menor dose ( $62,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Assim, pode-se inferir que a liberação de P desde a primeira avaliação, tenha alguma relação com o aumento da dose (de  $62,5$  para  $125 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). O efeito de dose pode ser comprovado observando nos gráficos referentes à dose de  $250 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , em ambas as fontes, em que verificou-se aumento no teor de fósforo disponível a partir de 60 dias da aplicação do fertilizante.

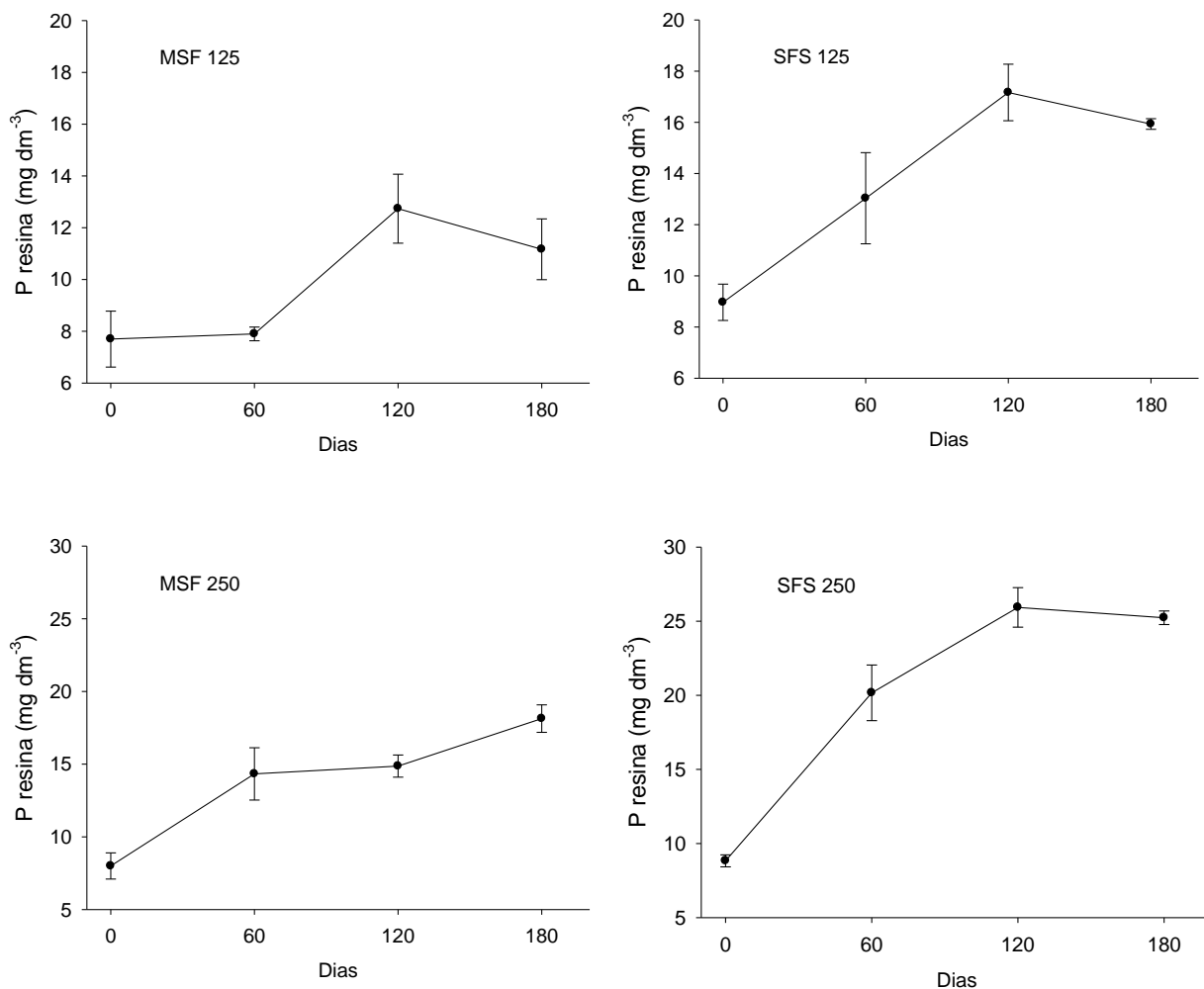


Figura 6 – Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) nas doses de 125 mg dm<sup>-3</sup> e 250 mg dm<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Para a dose de 500 mg dm<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pode se observar que em ambas as fontes o teor de P resina aumentou até a terceira avaliação e, a partir da quarta avaliação, os teores começaram a apresentar tendência para estabilidade (Figura 7). Observou-se que ambas as fontes apresentam comportamento similar quanto à resposta a concentração do fósforo nas diferentes épocas, no entanto as plantas conduzidas com a fonte SPS apresentaram maior acúmulo de matéria seca, fundamental para a produção de mudas de cafeeiro. Por outro lado, a fonte MSF continuaria disponibilizando P durante o processo de formação de mudas e posteriormente no campo, enquanto que SPS diminui a sua solubilidade com o tempo (RAIJ, 2004). Do

exposto, recomenda-se a utilização fonte que contenha rocha fosfática e micro-organismos solubilizadores de fosfato associada a fertilizantes solúveis tradicionais para que o P no solo seja suficiente para suprir as exigências das plantas.

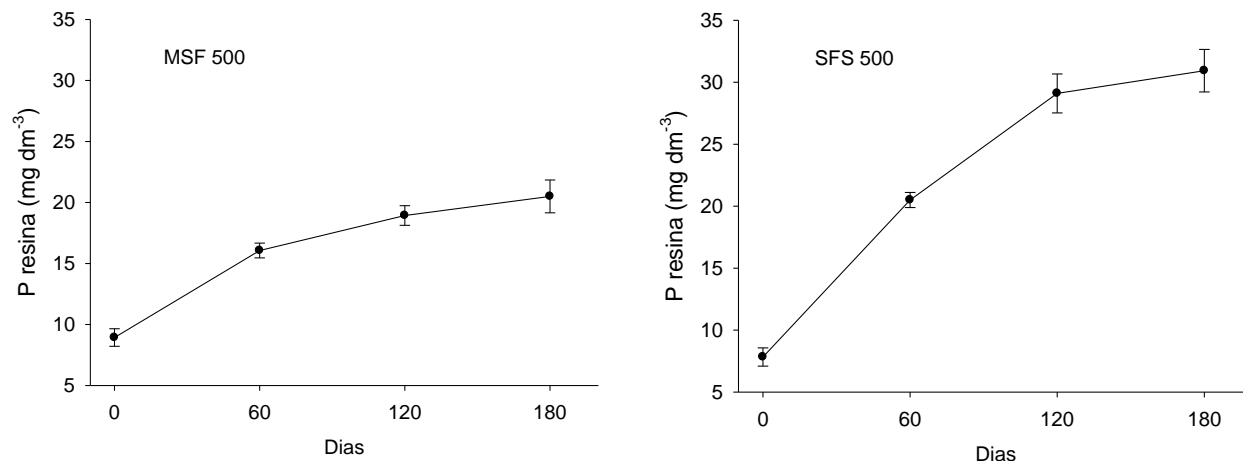


Figura 7 – Teor de fósforo disponível (P-resina) ao longo do tempo para as fontes (MSF e SFS) na dose 500 mg dm<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### 4.1.2 Taxa de crescimento absoluto

A taxa de crescimento absoluto dos primeiros 60 dias foi superior quando foi usada uma fonte de fósforo solúvel (SFS), comparativamente a fonte constituída pela mistura de rocha fosfática com resíduos orgânicos e micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF) (Figura 20). Nos primeiros 60 dias constatou-se que a taxa de crescimento absoluto aumentou substancialmente entre 125 e 500 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, alcançando a taxa máxima de crescimento estimada de 317,7 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> com a aplicação de 864,5 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de SFS e 204,6 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> pelo fornecimento de 1000 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de MSF (Figura 8). A elevada taxa de crescimento entre 125 a 1000 mg dm<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SPS) ocorreu para o teor de P-resina entre 13,0 e 20,5 mg dm<sup>-3</sup>, enquanto para o MSF variou entre 9,4 e 16,1 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 10). Do exposto, observou que apesar da diferença entre os valores de P no solo ser, em média, de apenas 4,0 mg dm<sup>-3</sup>, foi suficiente para proporcionar maior taxa de crescimento da muda. A princípio pode-se admitir a conveniência do uso de uma



mistura de ambas as fontes (SFS e MSF), em que teria a disponibilidade de P para o crescimento inicial das mudas (SFS), associado a uma fonte de liberação gradual, pela presença de rocha fosfática e micro-organismos solubilizadores (MSF) para a continuidade do crescimento, mesmo após o plantio no campo, corroborando os estudos de Neves et al. (1990) e Franco (1983) em que comprovou a importância do P no desenvolvimento das raízes e crescimento vegetativo das mudas cafeeiras.

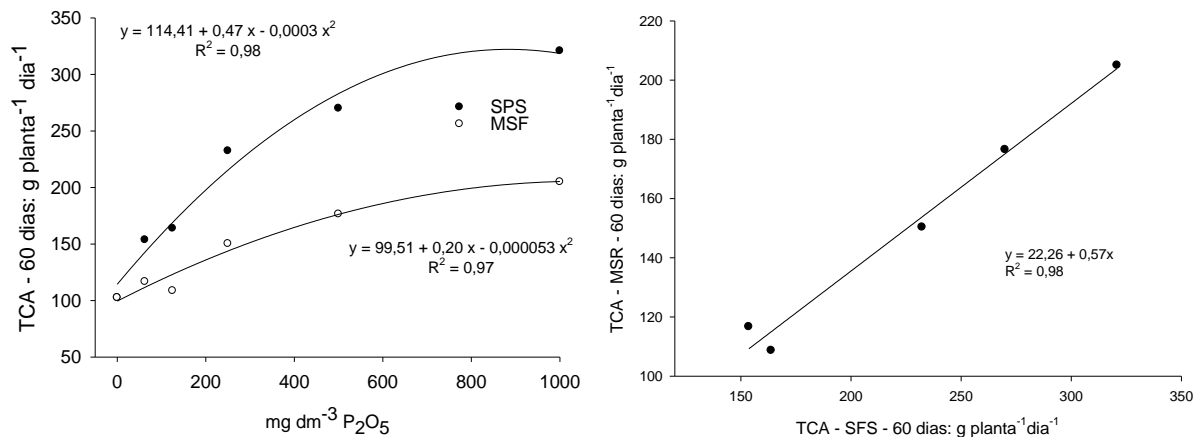


Figura 8 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) das mudas de cafeeiro e correlação da TCA entre as fontes MSF e SFS em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos primeiros 60 dias após a adubação (janeiro/2009)

De acordo com a correlação obtida entre a taxa de crescimento absoluto para MSF (y) e a taxa de crescimento absoluto para SFS (x) (Figura 20), verificou-se uma equivalência de 57% entre a fonte de solubilidade gradual (MSF) em relação à fonte solúvel (SFS), indicado pelo coeficiente angular da reta ( $y = 0,57x + 22,26$ ). Tal observação pode ser explicada pela necessidade de tempo para a ação dos micro-organismos solubilizadores de P, sendo 60 dias insuficientes para maior vantagem do referido insumo, e que a mistura das fontes pode ser uma alternativa.

A taxa de crescimento absoluto entre 60 e 180 dias continuou superior para a fonte de fósforo solúvel (SFS) em relação àquela de solubilidade gradual (MSF) (Figura 9). Para a aplicação de SFS houve tendência de obter a máxima taxa de crescimento absoluto estimada em 58,43 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> com a aplicação de 875,8 mg dm<sup>-3</sup> enquanto pelo uso da fonte MSF houve resposta linear para a taxa de crescimento do

cafeeiro. Como a partir de  $500 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de SFS não se observou ganho acentuado da taxa de crescimento absoluto, pode-se admitir que o teor de P solúvel igual a  $30,9 \text{ mg dm}^{-3}$  foi suficiente para a formação de mudas de cafeeiro, o que explicaria a resposta linear para as doses de MSF, pois obteve-se P solúvel igual a  $20,5 \text{ mg dm}^{-3}$  na dose  $500 \text{ mg dm}^{-3}$  aos 180 dias (Tabela 10). A resposta linear para o crescimento de mudas em função das doses de MSF indica que a baixa solubilidade do produto pode ser compensada em parte pelo aumento da dose da fonte. Esta observação reforça a hipótese de que o uso de produto de baixa solubilidade deve ser associado a fontes solúveis, comprovando a afirmação feita anteriormente.

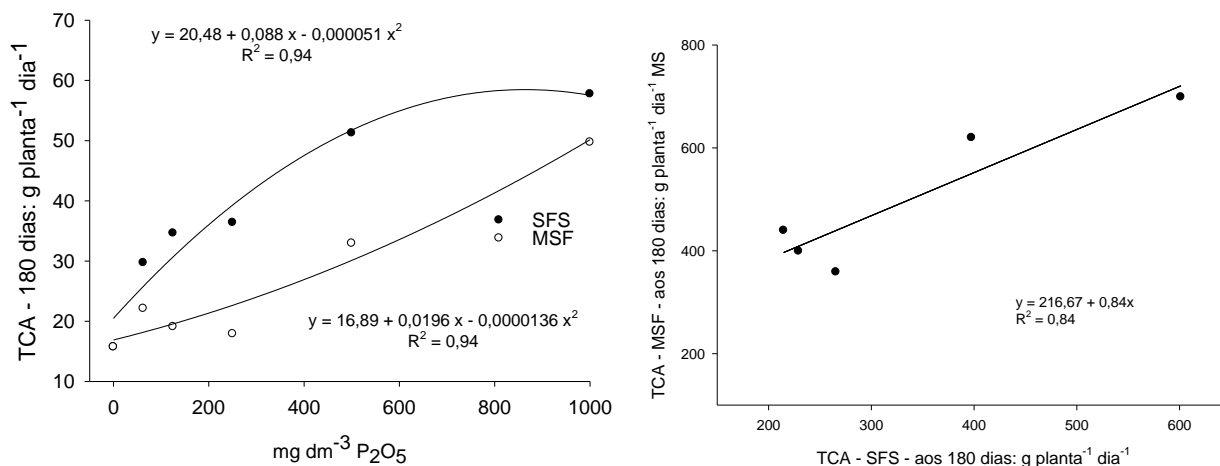


Figura 9 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) das mudas de cafeeiro e correlação da TCA entre as fontes MSF e SFS em função das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 60 e 180 dias após a adubação (maio/2009)

A correlação entre a taxa de crescimento absoluto para MSF (y) e a taxa de crescimento absoluto para SFS (x) está apresentada na Figura 21. A fonte de solubilidade gradual (MSF) apresentou equivalência de 84 % em relação à fonte solúvel (SFS), como indica o coeficiente angular da reta ( $y = 0,84x + 216,67$ ). Tal observação comprova a necessidade de tempo para a ação dos micro-organismos solubilizadores de P, e confirma a necessidade de que seja feita uma composição com uma fonte solúvel para compensar a menor equivalência nos primeiros 60 dias da adubação, cuja

equivalência foi da ordem de 57%. Além disso, o conteúdo de P no solo é fundamental para determinar a eficiência dos micro-organismos (NAHAS, 1999).

## 4.2 Respostas a fontes e doses de P de cafeeiro em produção

### 4.2.1 Teor de fósforo disponível no solo (P-resina)

De acordo com os dados da Tabela 12, houve diferença significativa para tratamentos, época de avaliação e a interação entre ambos. Assim, a discussão dos resultados será feita em relação aos dados da interação época *versus* tratamento (fontes e doses de fósforo)

Tabela 12 - Análise de variância e coeficiente de variação para teores de fósforo disponível (P-resina) no solo

Fonte variação	Estatística F
Época	48,50*
Tratamento	58,03*
Época x tratamento	4,07*
Bloco	0,29 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,68

\*significativo pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Os teores de P-resina avaliados aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias após a adubação feita no campo não variaram entre as fontes, dentro de cada dose (Tabela 13).

Nas doses de 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> observou-se elevação do teor de P disponível no solo até 120 dias, o que significa que foi suficiente para atender a demanda do cafeeiro e aumentar a quantidade no solo. Já a partir de 180 dias, nas mesmas doses, houve diminuição do teor de fósforo disponível no solo equivalente aos valores iniciais, o que pode ser explicado pela adsorção do fósforo no solo, devido o tempo decorrido da aplicação, uma vez que a maior parte do P aplicado ao solo fica retida em suas partículas, tornando-se insolúvel (RAIJ, 2004).

O teor de P-resina não reduziu até 360 dias em relação à época inicial, quando foram aplicadas as doses de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que significa que a quantidade

fornecida foi suficiente para atender a exigência das plantas e adsorção do fósforo pelo solo. (Tabela 13).

Tabela 13 – Fósforo disponível (P-resina) em função das fontes, doses de fósforo e épocas de avaliação

Fonte	Kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Épocas - dias						
		0	60	120	180	240	300	360
Testemunha	0	30,17 Aa	32,17 Ad	32,99 Ad	33,47 Acd	31,24 Ad	29,36 Ae	27,93 Ad
MSF	25	29,70 Aa	36,40 Acd	35,27 Acd	31,82 Ad	32,52 Acd	34,35 Acde	32,97 Acd
SFS	25	32,13 BCa	39,16 ABbcd	40,13 ABbcd	40,97 Aabcd	34,31 ABCbcd	32,32 BCde	28,94 Cd
MSF	50	32,66 Ba	39,08 ABbcd	44,86 Aab	38,87 ABbcd	33,80 Bbcd	36,36 ABbcde	36,23 Bbcd
SFS	50	29,80 Da	42,10 ABabc	46,32 Aab	41,62 ABabc	39,89 ABCabcd	33,82 BCDde	31,36 CDcd
MSF	100	33,66 Ca	38,11 BCbcd	46,72 ABabc	46,91 Aab	44,19 ABa	39,95 ABCabcd	44,79 ABab
SFS	100	30,32 Ba	42,42 Aabc	45,83 Aab	41,37 ABabc	40,67 ABabc	37,70 ABbcde	33,80 Bcd
MSF	200	32,17 Ba	40,95 Aabcd	42,25 Abcd	40,86 Aabcd	47,16 Aa	44,59 Aab	47,31 Aa
SFS	200	37,47 Ba	47,13 Aab	43,96 ABabc	43,27 ABab	43,04 ABab	43,56 ABabc	39,31 ABabc
MSF	400	34,00 Ba	41,03 ABabcd	43,02 Aabc	42,33 ABabc	42,69 Aab	41,62 ABabcd	48,41 Aa
SFS	400	32,79 Ba	49,81 Aa	52,33 Aa	48,23 Aa	46,58 Aa	47,69 Aa	44,36 Aab

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas na linha não diferem (p<0,05) pelo teste Tukey

#### 4.2.2 Produtividade de grãos

A produtividade de café beneficiado (sacas ha<sup>-1</sup>) não diferiu em função das fontes e doses de fósforo (Tabela 14 e Figura 10). Tal constatação pode ser explicada pelo teor inicial de fósforo no solo, 32,3 mg dm<sup>-3</sup> de P, em que não se espera resposta a aplicação do nutriente, pois o valor é superior ao nível crítico para a cultura do cafeeiro (RAIJ et al., 1996).

Tabela 14 – Análise da variância e coeficiente de variação para produtividade de grãos em função das fontes e doses de P

Fonte variação	Estatística F
Blocos	1,14*
Tratamentos	0,71 <sup>ns</sup>
Cv(%)	4,68

\*significativo pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

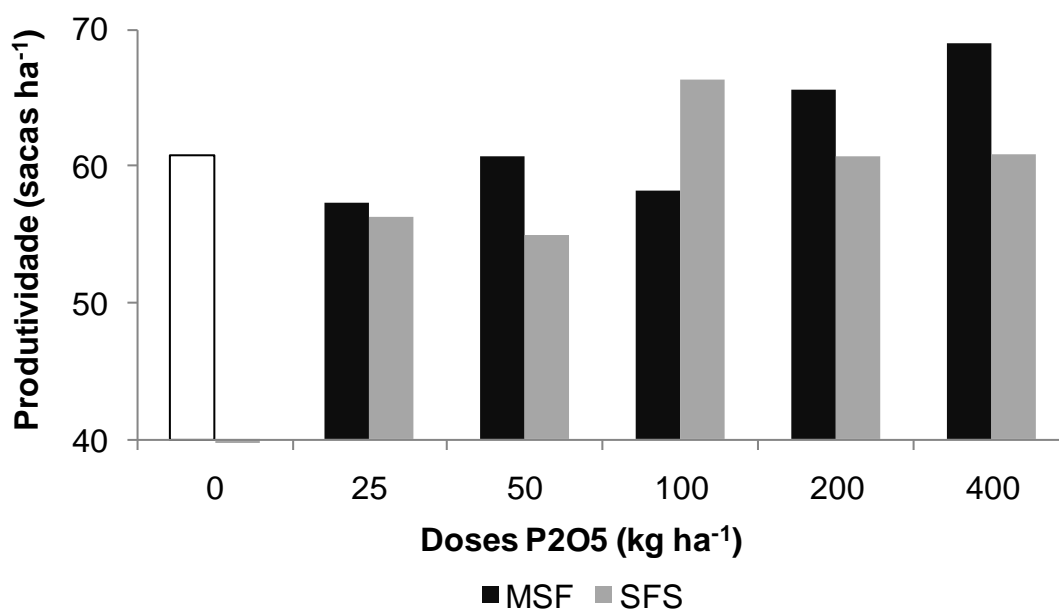


Figura 10 – Produtividade de grãos em função de fontes e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### 4.2.3 Concentração de fósforo foliar

A avaliação para os teores de fósforo foliar para cafeeiros submetidos a diferentes fontes e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não variou entre as fontes e doses de P (Tabela 15), devido à capacidade do solo em fornecer o nutriente mesmo quando não foi aplicado o nutriente (Tabela 16).

Tabela 15– Resumo da análise da variância e coeficiente de variação para os teores de fósforo foliar para cafeeiros em função das fontes e doses de P

Fonte de variação	Estatística F
Bloco	10,01*
Tratamentos	1,49 <sup>ns</sup>
Época	301,39*
Época x tratamentos	1,63 <sup>ns</sup>
Cv(%)	14,3

\*significativo pelo teste Tukey (p&lt;0,05)

Tabela 16 – Concentrações de fósforo foliar (g kg<sup>-1</sup>) para cafeeiros em função das fontes e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Fonte	kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Período				
		janeiro/09	março/09	maio/09	julho/09	setembro/09
Testemunha	0	1,69a	1,54abc	1,60ab	1,22c	1,29bc
MSF	25	1,84a	1,68a	1,68a	1,18b	1,23b
SFS	25	1,79a	1,67a	1,67a	1,16b	1,27b
MSF	50	1,74a	1,72a	1,74a	1,15b	1,23b
SFS	50	1,88a	1,71ab	1,79a	1,28c	1,41bc
MSF	100	1,75a	1,70a	1,60ab	1,20c	1,30bc
SFS	100	1,75a	1,60ab	1,59ab	1,25b	1,25b
MSF	200	1,69a	1,82a	1,69a	1,19b	1,19b
SFS	200	1,81a	1,69a	1,55ab	1,24b	1,30b
MSF	400	1,90a	1,78a	1,66a	1,17b	1,19b
SFS	400	1,54ab	1,68a	1,60ab	1,20c	1,30bc

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste Tukey (p&lt;0,05)

A diminuição do teor de fósforo foliar nos meses de julho/09 e setembro/09 podem ser explicados pelas seguintes causas: (i) redistribuição para os frutos (NETO, 2009) e raízes em crescimento (BATAGLIA, 2004), nas camadas mais profundas do solo, onde em geral há umidade; (ii) diminuição da temperatura e (iii) redução da precipitação pluvial (Figura 12). Os resultados da presente pesquisa corroboram aqueles obtidos por Silva & Silva (1957) e Neto (2009), em que os autores também observaram redução da concentração foliar de P no outono-inverno.

A absorção do P pelas raízes, por ser um fenômeno ativo, depende da energia (ATP) produzida durante a respiração, a qual é prejudicada por baixas temperaturas. Por sua vez, para que a absorção aconteça é necessário que haja o contato do P com as raízes, que se dá por difusão, cujo processo depende da umidade do solo, fator limitante nessa época (Figura 4).





## 5 CONCLUSÕES

- O desenvolvimento das mudas de cafeeiro é superior com o uso de fonte de P solúvel, em relação à fonte de solubilidade gradual, independentemente da dose.
- A determinação da capacidade de substituição da fonte solúvel pela fonte de solubilidade gradual depende do tempo de reação no solo, cuja máxima equivalência é igual a 84 %, aos 180 dias após a aplicação do fertilizante (MSF).
- Em solos com teor de P disponível suficiente para a cultura do cafeeiro é viável a substituição de uma fonte solúvel (SFS) por outra de baixa solubilidade associada à micro-organismos (MSF).



## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V.V.H; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 25:27-33, 2000.

(Boletim Informativo)

AMARAL, A. S. do, BARROS, U. V., BARBOSA, C. M., MATIELLO, J. B. Modo de aplicação e granulometria do superfosfato simples usado na cova de plantio do cafeeiro – efeito na produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 26., 2000, Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: MA/PROCAFE/ CBP&D-Café/EMBRAPA/SAESP/COOPEMAR/PMM, 2000. p.63-64.

ASEA, P.E.A.; KUCEY, R.M.N.; STEWART, J.W.B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v.20, p.459-464, 1988.

BAHL, G.S.; PASRICHA, N.S. Efficiency of P utilization by pigeonpea and wheat grown in a rotation, Nutrient **Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v, 51, n, 3, p, 225-229, 1998.

BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2043-2050, 2000.

BATAGLIA, O.C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: Yamada, T.; Stipp. S.R.; Abdalla. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba, SP, Potafos, 2004. Cap. 12, p.307-327.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1986. 42 p.

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

CHAIHARN, M.; LUMYONG, S. Phosphate solubilization potential and stress tolerance of rhizobacteria from rice soil in Northern Thailand. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Oxford, v.25, p.305-314, 2009.

CHUANG, C.C.; KUO, Y.L.; CHAO, C.C.; CHAO, W.L. Solubilization of inorganic phosphate and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. **Biology Fertility Soils**, Berlin, v.43, p.575-584, 2007.

COELHO, F.S. Nitrogênio no solo e na planta. In: INSTITUTO CAMPINEIRO DE ENSINO AGRÍCOLA. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas, 1973. p. 16-64.

CUNNINGHAM, J. E.; KUIACK, C. Production of citric and oxalic acids and solubilization of calcium phosphate by *Penicillium bilaii*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 58, n. 5, p. 1451-1458, 1992.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R.F. ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L (ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: **Embrapa Produção de Informação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.

EIRA, A.F.; CARVALHO, P.C.T. Levantamento de Microrganismos solubilizadores de Fosfato. **Rickia**, Sao Paulo, v. 5, p.111-124, 1970.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility Research**, v.45, p.91-100, 1996.

FERREIRA, D. A.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, M. H. S.; AGUIAR, C. T. Influência do pH na adsorção. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, 31., 2007, Gramado. **CD Rom....** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

FRANCO, C. M. Translocação lateral do N, P e K no cafeeiro, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 10., 1983. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p. 1-2.

GOEDERT, W.J., SOUZA, D.M.G., LOBATO, E. In: \_\_\_\_\_. **Solos de cerrado: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987. p.129-166.

GOLDSTEIN, A.H.; ROGERS, R.D.; MEAD, G. Mining by microbe. **Bio/Technology**, New York, v,11, p,1250-1254, 1993.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 28p. (Informações agrônômicas, 95).

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. **ITEM**, Brasília, n.73, p. 52-61, 2007.

HALDER, A.K.; MISHRA, A.K.; BHATTACHARYYA, P.; CHAKRABARTTY, P.K. Solubilization of rock phosphate by *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*. **Journal Genetics Applied Microbiology**, v.36, p.81-92, 1990.

HARIPRASAD, P.; NIRANJANA, S.R. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. **Plant and Soil**, The Hague, v.316, p.13-24, 2009.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005. 515p.

HWANGBO, H.; PARK, R.D.; KIM, Y.W.; RIM, Y.S.; PARK, K.H.; KIM, T.H.; SUH, J.S.; KIM, K.Y. 2-Ketogluconic acid production and phosphate solubilizing by *Enterobacter intermedium*. **Current Microbiology**, v.47, p.87-92, 2003.

ILLMER, P.; BARBATO, A.; SCHINNER, F. Solubilization of hardly soluble  $AlPO_4$  with P-solubilizing microorganisms. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.27, p.265-270, 1995.

ILLMER, P.; SCHINNER, F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.24, p.389-395, 1992.

JHA, B.K.; PRAGASH, M.G.; CLETUS, G.; RAMAN, G.; SAKTHIVEL, N. Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Oxford, v.25, p.573-581, 2009.

KIM, C.H.; HAN, S.H.; KIM, K.Y.; CHO, B.H.; KIM, Y.H.; KOO, B.S. Cloning and expression of Pyrroloquinoline Quinone (PQQ) genes from a phosphate-solubilizing bacterium *Enterobacter intermedium*. **Current Microbiology**, New York, v.47, p.457-461, 2003.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, E.M.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.1, p.29- 40, jan./mar. 2007.

LIN, T.F.; HUANG, H.; SHEN, F.T.; YOUNG, C.C. The protons of glucônico acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC-A174. **Bioresource Tecnology**, v.97, p.957-960, 2006.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p

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

MARCUZZO, K.V.; MELO, B.; TEODORO, R. E. F.; LANA, R. M.Q.; GUIMARÃES, P. T.G.; SEVERINO, G.M. Fontes e doses de fósforo na fase de formação do cafeeiro, em solos sob vegetação de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28,, 2002, Rio de Janeiro. **Trabalhos Apresentados**,,, Caxambu: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p, 312-313.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2005. 434p.

MAY, J.T. Soil moisture. In: SOUTHERN pine nursey handbook. S.I.: USDA, **Forest Service**, Southern Region, 1984. cap, 11 p. 1-19.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NAHAS, E. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolates from soil. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Oxford, v.12, p.567-572, 1996.

NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G.(Ed.). **Inter-relação fertilidade biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS/UFLA/DCS, 1999. p.467-486.

NAUTIYAL, C.S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, v.170, p.265-270, 1999.

NETO, A.P. **Metabolismo do nitrogênio e concentrações de nutrientes no cafeeiro irrigado em razão da dose de N**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

NEVES, J. C.L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Adubação mineral de mudas de Eucalipto. In: BARROS, N, F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 99-126.

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

RAIJ, B, van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.107-116.

RAIJ, B, van. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.



RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC. 285p. (**Boletim Técnico, 100**).

RICHARDS, I.R., JOHNSTON A.E. The effectiveness of different precipitated phosphates as sources of phosphorus for plants. **CEEP Report**, 2001.

ROBINSON, J. S.; SYERS, J. K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, n. 4, p. 597-605, **1990**.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide statistical**. Version 8. Cary: SAS Institute, 2000.

SHARAN, A.; SHIKHA; DARMWAL, N.S. Efficient phosphorus solubilization by mutant strain of *Xanthomonas campestris* using different carbon, nitrogen and phosphorus sources. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Oxford, v.24, p.3087-3090, 2008.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

SILVA, H.L.; SILVA, H.L.E. Variação da composição mineral de folhas de cafeeiro. **Revista do Café Português**. Oeira, 1957. 81p. (Separata, 7).

SIQUEIRA, J.O. 1996. Microbiologia do solo e a sustentabilidade agrícola: Enfoque em fertilidade do solo e nutrição mineral. In: Reunião Brasileira de fertilidade do solo e

Nutrição de Plantas, 22. *Palestras*. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Manaus, p.1-42, 2006.

SONG, O.R.; LEE, S.J.; LEE, S.C.; KIM, K.K.; CHOI, Y.L. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacia* DA23 isolated from cultivated soil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.39, p.151-156, 2008.

SRIDEVI, M.; MALLAIAH, K.V.; YADAV, N.C.S. Phosphate solubilization by *Rhizobium* isolates from *Crotalaria* species. **Journal of Plant Sciences**, Shannon, v.2, p.635-639, 2007.

STAUFFER, M, D.; SULEWSKI, G. Fósforo – Nutriente essencial para a vida. In: YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). In: SIMPÓSIO DESTACA A ESSENCIALIDADE DO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafós, Junho/2003. p,1. (Informações Agronômicas, 102).

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; TORRACA, S.L.A.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A.; PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.12, p.15-22, 1982.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

WHITELAW, M.A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, New York, v.69, p.99-151, 2000.

XIE, J. **Screening for calcium phosphate solubilizing *Rhizobium leguminosarum***. 2008. Dissertation (Master of Science)–University of Saskatchewan, Saskatoon.