

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

AMARILSON DE OLIVEIRA CANDIDO

DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO ARÁBICA
SOB FONTES DE FÓSFORO

ALEGRE, ES
2013

AMARILSON DE OLIVEIRA CANDIDO

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIRO ARÁBICA
SOB FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em Produção Vegetal, na área de concentração de Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz

ALEGRE, ES

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Candido, Amarilson de Oliveira, 1988-
C217d Desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica sob fontes de fósforo /
Amarilson de Oliveira Candido. – 2013.
65 f. : il.

Orientador: Marcelo Antonio Tomaz.

Coorientador: José Francisco Teixeira do Amaral.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Café – Cultivo. 2. Café – Crescimento. 3. Fertilizantes fosfatados.
4. Fertilizantes orgânicos. 5. Desenvolvimento vegetativo. I. Tomaz,
Marcelo Antonio. II. Amaral, José Francisco Teixeira do. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias.
IV. Título.

CDU: 63

AMARILSON DE OLIVEIRA CANDIDO

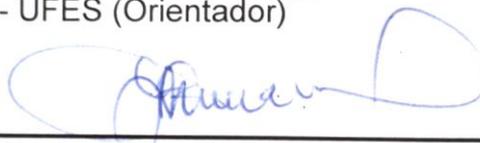
**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO ARÁBICA
SOB FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em Produção Vegetal, na área de concentração em Fitotecnia.

Aprovada em 31 de julho de 2013.



Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
CCA - UFES (Orientador)



Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
CCA - UFES (Coorientador)



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
CCA – UFES (Membro interno)



Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel
IFES - Alegre (Membro externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me permitiu continuar desfrutando da vida, dando segurança e sabedoria nas horas necessárias.

Aos meus pais: Creuza de Oliveira Crise e Ailson Candido Crise, por existirem, pela dedicação, amor, honestidade, pelas orações, incentivo segurança e ensinamentos.

Aos meus irmãos: Aildson de Oliveira Candido e Aurione de Oliveira Candido, pela amizade e apoio.

À Maria da Penha Barbosa dos Santos, pela compreensão das dificuldades passadas durante o curso, pela amizade, apoio, companheirismo, incentivo e pelo seus valiosos conselhos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de estudo.

À CAPES, pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela oportunidade concedida, pela orientação e respeito.

Ao Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral, professor do Departamento de Engenharia Rural do CCA-UFES, pela coorientação, incentivo e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, professor do Departamento de Engenharia Rural do CCA-UFES, pelos conselhos estatísticos, sinceridade e prontidão.

Ao Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel, professor do IFES - Alegre, pela atenção e disponibilidade ao longo do trabalho.

Aos amigos Madlles Queiroz Martins, Allan Rocha de Freitas, Ariany das Graças Teixeira, Rogério Rangel Rodrigues, Lima Deleon Martins, Wagner Nunes Rodrigues, Sebastião Vinicius Brinati e Natiélia Oliveira Nogueira, pelo apoio e conselhos em todas as etapas do curso.

Ao aluno de graduação Ademar Leandro de Souza, pela ajuda, esforço e dedicação na realização deste trabalho.

Ao professor Felipe Vaz Andrade, pelos conselhos e profissionalismo.

Aos amigos responsáveis pelo funcionamento dos laboratórios: Sílvio (Nutrição Mineral de Plantas), Sônia e Maraboti (Química do solo), pela ajuda indispensável no laboratório.

Aos amigos Soeder Ventura e Fabiano pelas articulações com a aquisição dos materiais testados.

A Natufert, Fertilizantes Heringer, Embrafós, Yoorin Fertilizantes e ao Grupo Biosoja, pela doação dos fertilizantes utilizados nos trabalhos.

Ao Sr. Didi Mataveli, pela doação das mudas de café.

À Neuza de Souza, pela paciência, dedicação, incentivo, compreensão e ensinamento nos momentos difíceis.

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio, ajuda e troca de experiências por muitos momentos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Amarilson de Oliveira Candido, filho de Ailson Candido Crise e Creuza de Oliveira Crise, nasceu em 17 de fevereiro de 1988, em Alegre - ES. Coursou o Ensino Fundamental de 1995 a 2002, na EEEFM "José Corrente", no distrito de Vila do Café, Alegre - ES. Em dezembro de 2005, formou-se como Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (atual IFES Campus de Alegre - ES). Em julho de 2011, graduou-se Engenharia Agrônoma pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), em Alegre, ES. Em agosto de 2011, iniciou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, no CCA-UFES, tendo defendido a dissertação em 31 de julho de 2013.

"Eu gosto do impossível, tenho medo do provável, dou risada do ridículo. Sou inconstante e talvez imprevisível. Me irrita de forma inexplicável quando não botam fé nas minhas palavras. Nem sempre coloco em prática aquilo que eu julgo certo. São poucas as pessoas pra quem eu me explico ..." (Bob Marley)

RESUMO GERAL

A fertilização fosfatada é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento inicial do cafeeiro com qualidade. A falta de fósforo no início do desenvolvimento das plantas restringe o crescimento, limitando a produção de matéria seca, condição essa que poderá prejudicar a produção da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de fósforo no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica em condições de casa de vegetação. Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Foram utilizadas mudas de café arábica da cultivar Catucaí 785-15 cultivadas em vasos. No primeiro experimento foram utilizados 10 tratamentos (ausência de aplicação de P; superfosfato simples; orgânico granulado; organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P; organomineral granulado; fosfato de Bayóvar; termofosfato magnesiano; complexo mineral em pó com P solúvel + P residual; e micronutrientes; complexo mineral com P solúvel + P residual e organomineral em pó com turfa), num delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Aos 150 dias, foram avaliadas as variáveis morfológicas das plantas e os índices de eficiência agrônômica dos fertilizantes. A adubação fosfatada com fertilizante organomineral granulado resultou no melhor desenvolvimento das plantas de café, e os maiores índices de eficiência agrônômica. O segundo experimento foi conduzido num esquema fatorial 3 x 5, sendo fertilizantes em três níveis (superfosfato simples, orgânico granulado e organomineral em pó) e dose em cinco níveis (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de P), num delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Aos 150 dias de cultivo, foram avaliadas as variáveis morfológicas das plantas, suas relações e o índice de qualidade de Dickson. Há aumento do índice de qualidade das mudas de cafeeiro quando aplicado o fertilizante superfosfato simples até a dose de 152,76%, e para os fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó, há aumento linear até a dose 200% da recomendação de adubação fosfatada.

ABSTRACT

The phosphorus fertilization is one of the most important factors in the development of quality coffee seedlings. The absence of phosphorus in the early development of plants has restricted growth by limiting the production of dry, a condition which may adversely affect the crop yield. The aim of this study was to evaluate the effect of different sources and levels of phosphorus in the initial development of arabica coffee in greenhouse conditions. The experiment was conducted in the area of the Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Arabica coffee seedlings cultivar Catucaí 785-15 were used and grown in pots. The experimental design was completely randomized with four replications. In the first study were used 10 treatments (without P, superphosphate, organic granular, organic mineral powder with P-solubilizing microorganisms, organic mineral granulated, phosphate Bayóvar, termal phosphate, complex mineral powder with residual soluble P + P and micronutrients, mineral complex with soluble P + P residual and organic mineral powder with soil conditioner). At 150 days were evaluated morphological parameters of plants and indices of agricultural efficiency of fertilizers. In the second study treatments consisted of using three fertilizers (superphosphate, organic granular organic mineral powder with P-solubilizing microorganisms) in five doses (0, 50, 100, 150 and 200% of the recommended P). After 150 days of culture, were evaluated morphological parameters of plants, their relationships and Dickson quality index. The phosphate fertilizer granules using biofertilizer promotes best initial coffee plants. The application of biofertilizer granulate is superior to other sources of phosphorus on the agronomic efficiency, equivalent superphosphate and recovery of applied P by coffee plants. Fertilization with superphosphate provides seedlings and more developed with better quality compared to granulated organic fertilizer and organic mineral powder.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	11
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 - FONTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS	13
2.2 - IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA O CAFEIRO.....	15
2.3 – FÓSFORO (P) NO SOLO.....	17
3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
4 - CAPÍTULO 1 - CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAFEIRO ARÁBICA E ÍNDICES DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS.....	23
4.1 – INTRODUÇÃO.....	25
4.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.2.1 - Caracterização da área e coleta do solo.....	27
4.2.2 - Preparo e caracterização do solo.....	27
4.2.3 - Instalação e condução do experimento.....	28
4.2.4 – Avaliações.....	30
4.2.5 - Análises estatísticas.....	31
4.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.4 – CONCLUSÕES.....	38
4.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
APÊNDICE.....	43
5 - CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS CAFEIRO ARÁBICA EM RESPOSTA A FONTES E DOSES DE FÓSFORO.....	45
5.1 – INTRODUÇÃO.....	47
5.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	49
5.2.1 - Caracterização da área e coleta do solo.....	49
5.2.2 - Preparo e caracterização do solo.....	49
5.2.3 - Instalação e condução do experimento.....	50
5.2.4 – Avaliações.....	51
5.2.5 - Análises estatísticas.....	52
5.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.4 – CONCLUSÕES.....	60
5.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÊNDICE.....	65

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos de exportação do Brasil, cujo cultivo ocupa extensas áreas agrícolas, com destaque para o Estado do Espírito Santo que é o segundo maior produtor, correspondendo a quase 25% da colheita nacional. A produção é obtida prioritariamente por produtores de base familiar, envolvendo 131 mil famílias e aproximadamente 400 mil postos de trabalho por ano (CONAB, 2012).

É crescente a implantação de lavouras cafeeiras, substituindo cultivos antigos de cafés e/ou em áreas que antes eram usadas principalmente para pastagem. Essas áreas, em sua maioria, são de baixa fertilidade, que aliada à exportação de nutrientes, por meio das colheitas e manejos inadequados, torna a reposição de nutrientes uma necessidade para a cafeicultura (EFFGEN et al., 2008).

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes para as culturas agrícolas, especialmente em solos tropicais, que apresentam, em geral, baixo teor de P disponível. Isso se deve a adsorção de P no solo, com formação de compostos pouco solúveis ou insolúveis, fixando o P ao entrar em contato com a fase sólida do solo, não o disponibilizando às plantas (ALCARDE et al., 1991). Isso requer que a adubação fosfatada seja aplicada em quantidades maiores do que a realmente exigida pelas plantas, fazendo-se necessário primeiramente satisfazer à exigência do solo, saturando os componentes responsáveis pela fixação do P (FURTINI NETO et al., 2001; MELO et al., 2005).

Na formação de mudas, um suprimento adequado de P proporciona respostas significativas tanto no crescimento do sistema radicular quanto da parte aérea, fatores básicos para a formação de lavouras cafeeiras (MALAVOLTA, 1980). Sob condições limitantes de P, as mudas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, em consequência, é explorado um pequeno volume de solo, o que resulta em acesso restrito à água e nutrientes (STAUFFER; SULEWSKI, 2003).

As principais fontes de P utilizadas na agricultura apresentam em geral elevada eficiência agrônômica, sendo obtidas industrialmente pelo tratamento de rochas fosfáticas com ácidos e podem ser divididas em fosfatos naturais, termofosfatos, fosfatos totalmente acidulados e fosfatos alternativos. As fontes naturais reativas são compostas pelo fosfato natural de Araxá, Gafsa, Arad, Carolina do Norte e de Bayóvar.

Os principais fosfatos totalmente acidulados pertencem ao grupo dos superfosfatos, constituído pelos superfosfatos simples e triplo e pelos fosfatos amoniados (fosfatos monoamônico - MAP e diamônico - DAP) (SANTOS et al., 2012; SOUSA; LOBATO, 2003).

Dada à conscientização ambiental crescente nos últimos anos, e à escassez de matérias-primas para produção de fertilizantes químicos, cresce a tendência de reaproveitamento de resíduos de animais e materiais orgânicos industrializados, com o intuito de criar novos produtos para uso na agricultura, como os fertilizantes organominerais. Mas as principais dúvidas sobre o uso destes produtos estão relacionadas com sua eficiência agronômica, seu custo, seu efeito no solo e nas plantas, em comparação com as fontes convencionais de nutrientes (WIETHOLTER et al., 1994).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de fósforo no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica em condições de casa de vegetação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FONTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

As rochas fosfáticas representam 99% da matéria-prima dos fertilizantes fosfatados produzidos no mundo (LOPES et al., 2004). Após tratadas, podem ser divididas em fosfatos naturais, termofosfatos, fosfatos totalmente acidulados e fosfatos alternativos (PROCHNOW et al., 2004).

Os fosfatos naturais são rochas moídas com reatividade variável nos solos; os termofosfatos são produzidos através de processos térmicos e com consumo de elevada energia; os fosfatos totalmente acidulados são produzidos através de processos de acidificação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou com ácido fosfórico (H_3PO_4); e, os fosfatos alternativos são compostos por fertilizantes parcialmente acidulados e compactados. Os fertilizantes obtidos através da acidulação são mais solúveis em relação aos fosfatos naturais (HOROWITZ; MEURER, 2003).

A caracterização de fósforo dos produtos fertilizantes pode ser realizada mediante determinações dos teores de P_2O_5 total solúvel em soluções extratoras como: água (H_2O), ácido cítrico a 2 % (AC) e citrato neutro de amônio (CNA), de forma que contenham elevada fração de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O também solúvel em água (84% a 92%) de acordo com as garantias mínimas previstas na legislação brasileira (SOUSA; LOBATO, 2004).

Segundo Sousa et al. (2004), os fertilizantes fosfatados podem ser agrupados em cinco classes:

1) Fertilizantes com alta solubilidade em água e em CNA - os principais são o superfosfato simples (SFS), o superfosfato triplo (SFT) e os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP). Possuem reconhecida eficiência agronômica e correspondem a mais de 90% do P_2O_5 utilizado na agricultura (MOREIRA et al., 1997; LANA et al., 2004).

2) Fertilizantes insolúveis em água e em AC - correspondem aos fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão e outros). Possuem lenta dissolução no solo e, conseqüentemente, muito baixa eficiência agronômica.

3) Fertilizantes com média solubilidade em água e em CNA – correspondem aos fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico a partir de concentrados fosfáticos nacionais. A eficiência agronômica desses fertilizantes é proporcional à fração solúvel presente neles (SOUSA et al., 2004).

4) Fertilizantes insolúveis em água e com alta solubilidade em CNA e AC - correspondem aos termofosfatos e produtos à base de fosfato bicálcico. Apresentam eficiência agronômica equivalente aos fertilizantes solúveis em água quando utilizado na forma moída, tendo a eficiência no ano da aplicação reduzida com o aumento da granulação.

5) Fertilizantes insolúveis em água e com média solubilidade em AC – correspondem aos fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade como os de Carolina do Norte, Gafsa, Marrocos e outros. Apresentam eficiência agronômica equivalente aos fertilizantes solúveis em água quando utilizado na forma moída. Quando não moídos apresentam menor eficiência inicial (no ano da aplicação) e efeito residual semelhante ou superior aos fertilizantes solúveis (SOUSA et al., 2004).

As fontes de elevada solubilidade apresentam maior eficiência em curto espaço de tempo, quando comparada aos fosfatos naturais. Nos solos tropicais, com elevada capacidade de adsorção de P, o nutriente oriundo da fonte solúvel, é convertido a formas menos disponíveis reduzindo assim sua eficiência ao longo do tempo (BOLLAND, 1985; KORDÖRFER et al., 1999).

Uma solução tecnológica e uma alternativa aos fertilizantes tradicionais é o reaproveitamento de resíduos de origem animal e vegetal e sua utilização como fertilizante organomineral.

A adubação organomineral é uma mistura de compostos orgânicos com a complementação de fontes minerais. As pesquisas realizadas mostram que esses produtos têm se mostrado de elevado valor agrícola, visto que podem ajudar na retenção de água, na melhoria das propriedades físicas do solo e facilitar a absorção de nutrientes, colocando-os mais próximos da raiz, na rizosfera (KIEHL, 1985; KPOMBLEKOU; TABATABAI, 2003).

2.2 - IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA O CAFEIEIRO

O P é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, sendo imprescindível ao seu crescimento e reprodução, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). Todos os processos metabólicos que envolvam gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação dos diferentes órgãos, têm participação direta ou indireta deste nutriente (MALAVOLTA, 2006).

Em termos quantitativos, o P e o S (enxofre) são os macronutrientes menos exigidos pelo cafeeiro para o seu crescimento vegetativo e produção (MALAVOLTA, 1993). Nas folhas do cafeeiro a concentração de fósforo corresponde aproximadamente a 5% do teor de nitrogênio, sendo esse valor um pouco mais elevado nos frutos.

Trabalhos recentes têm mostrado que a planta consegue responder a incrementos de P, principalmente em solos de baixa fertilidade, tanto na fase de implantação da cultura, quanto em anos de alta produtividade (PREZZOTTI; ROCHA, 2004; GUERRA et al., 2008).

A fertilização do substrato com P é um dos fatores mais importantes na produção de mudas saudáveis e bem desenvolvidas, pois, além de promover o crescimento e desenvolvimento das mudas no viveiro, pode influenciar o seu desenvolvimento no campo (MELO, 1999). Na sua ausência, o sistema radicular, ainda pouco desenvolvido, tem uma menor emissão de raízes secundárias para absorver P, o que certamente agrava o desenvolvimento da planta (GRANT et al., 2001). Com o crescimento das raízes, um maior volume de solo é explorado, além disso, as associações micorrízicas podem contribuir para a ampliação da capacidade de absorção de P pela planta, suprimindo a mesma quanto à demanda por este nutriente, resultando no desenvolvimento de mudas com qualidade superior (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1994; SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1995).

O P absorvido é acumulado pelas células corticais da raiz e transferido radialmente até o xilema, que o transporta à parte aérea, folha ou região de crescimento, onde juntamente com o N (nitrogênio), é o elemento mais redistribuído. Assim, o P fornecido às folhas ou quando a mesma envelhece, é redistribuído na proporção de até 60% do

total presente, via floema, para outras partes da planta, particularmente regiões de crescimento e frutos em desenvolvimento (MALAVOLTA, 2006).

Por causa da fácil redistribuição 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).

As folhas podem apresentar também ângulos foliares mais estreitos (se inclinam para baixo, aproximando-se dos ramos secundários), gemas laterais dormentes, número reduzido de frutos e sementes e atraso no florescimento. Dificilmente constatam-se sintomas de excesso, mas se houver pode induzir a deficiência de micronutrientes (MALAVOLTA, 2006).

A deficiência de P faz com que a planta ofereça menor barreira física à entrada dos agentes causais das doenças (menos lignina e suberina), menor resistência devido à diminuição da produção de defensivos endógenos (alexinas, glicosídeos, alcalóides) e modificações no ambiente inter ou intracelular mais favorável ao acúmulo de substratos que são alimentos para fungos, bactérias e outros. Para as pragas, os estudos não esclarecem a natureza do efeito sobre a relação entre pragas e o suprimento de P (MALAVOLTA, 2006).

2.3 P NO SOLO

Os solos tropicais, de maneira geral, apresentam alta capacidade de fixação de P, em função da abundância de oxihidróxidos de Fe e Al, e baixos teores de P na forma disponível as plantas (BONSER et al., 1996; SILVA FILHO et al., 2002; ROCHA et al., 2005). Segundo Novais e Smyth (1999) cerca de 90% do fósforo aplicado ao solo é rapidamente adsorvido pelos oxihidróxidos de Fe e Al.

A demanda de P nas adubações, entre outros fatores, depende da textura do solo, uma vez que o teor e a qualidade da argila é que vão modular o tamponamento da fração de P que permanecerá disponível para a planta (COSTA et al., 2009). Com isso, em solos argilosos há necessidade de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados em relação aos solos arenosos para atender à demanda de uma dada cultura (SOUZA et al., 2004).

A eficiência dos fertilizantes fosfatados depende de diversos fatores relacionados com suas características intrínsecas, propriedades do solo, práticas de manejo e características da cultura (CHIEN; MENON, 1995; RAJAN et al., 1996).

O aumento da disponibilidade de P para as plantas pode ser obtido mediante o manejo correto da adubação fosfatada, com ênfase na fonte utilizada, devido as suas características de solubilidade e reatividade, e no modo de aplicação mais adequado em função das diferentes capacidades do solo em adsorver o elemento (TIRITAN et al., 2010).

Desta forma, os diferentes sistemas de cultivo e manejos do fertilizante fosfatado contribuirão, de forma significativa, no acesso do P pela planta e, por fim, na produção das culturas, uma vez que o P é um importante modulador da produção (NUNES, 2010).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 35 p.

BOLLAND, M. D. A. Residual value for wheat of phosphors from calciphos, Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil in south-western Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 25, p. 198-208, 1985.

BONSER, A. M.; LYCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, v. 132, p. 281-288, 1996.

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: café – safra 2012, quarta estimativa, dezembro/2012. Brasília: Conab, 2012. 15 p.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 229-235, 2009.

EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; LIMA, J. S. S.; BORGES, E. N.; DARDENGO, M. C. J. D. REIS, E. F. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro Conilon submetidas a diferentes tratos culturais no Sul do Estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7-18, 2008.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V. GUILHERME, L. R. G. GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo**. Universidade Federal de Lavras. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2001, 252 p.

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; SANZONOWICZ, C.; RIBEIRO FILHO, G. C. Resposta do cafeeiro arábica a aplicação de fósforo. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10. 2008, Araguari. **Anais...** Araguari: Embrapa Café, 2008, p. 62-66.

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, Piracicaba, Instituto Potafos, 2001.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 41-47, 2003.

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

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 391-396, 1999.

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

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solos de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. Sistema Plantio Direto: **Bases para o manejo da fertilidade do solo**. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), São Paulo. 2004. 115 p.

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

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**: Colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 200 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil: Novo manual de recomendações**. Edição 2005 - Revisada, ampliada e ilustrada. Rio de Janeiro: MAPA/SARC/PROCAFÉ – SPAE/DECAF, 2005. 436 p.

MELO, B. Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. em tubetes. Lavras, UFLA, 1999. 119 p. (Tese Doutorado em Fitotecnia).

MELO, B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H.P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 533-538, 1997.

NUNES, R. S. **Distribuição de fósforo no solo sob dois sistemas de cultivos e diferentes manejos da adubação fosfatada**. 2010. 88 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2010.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, 2004.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 605-663.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 78-159, 1996.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 221-228, 1995.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 27-36, 1994.

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

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

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.(Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2004. 416 p

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do cerrado**. Piracicaba: Potafós, 2003, 16 p. (Encarte Técnico. Informações Agrônômicas, n. 102).

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos, 2004. p. 157-200.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168.

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, 2003. p. 1. (Informações Agronômicas, 102).

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 1, 2010, p. 01-07.

WIETHOLTER, O.; SIQUEIRA, J. F.; PERUZZO, G.; BEN. J. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 713-724, 1994.

4 CAPÍTULO 1 - CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAFEEIRO ARÁBICA E ÍNDICES DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

A carência de P no solo e a forte interação do elemento é um dos fatores que reduz a eficiência da adubação e a produção agrícola. Nessa situação, o manejo adequado e o uso de fertilizantes eficientes no fornecimento de P pode ser uma solução para melhorar o desenvolvimento das plantas e reduzir o custo de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar fontes de adubos fosfatados sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Foram utilizadas mudas de café arábica da cultivar Catucaí 785-15 com dois pares de folhas definitivas, cultivadas em vasos com 10 dm³ de solo. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram utilizados 10 tratamentos (ausência de P, superfosfato simples, orgânico granulado, organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P, organomineral granulado, fosfato de Bayóvar, termofosfato magnésiano, complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes, complexo mineral com P solúvel + P residual e organomineral em pó com turfa). Aos 150 dias foram avaliadas a altura das plantas, o diâmetro do caule, o número de folhas, a área foliar, o volume de raiz, a matéria seca, o conteúdo de P na raiz, na parte aérea e total, além dos índices de eficiência agrônômica dos fertilizantes. A adubação fosfatada com fertilizante organomineral granulado resultou no melhor desenvolvimento das plantas de café, e os maiores índices de eficiência agrônômica.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, Desenvolvimento vegetativo, Fertilizante organomineral.

ABSTRACT

The lack of P in the soil and the strong interaction is the element which reduces the efficiency of fertilizer and agricultural production. In this situation, proper handling and use of fertilizers efficient in providing P can be a solution to enhance plant growth and reduce production cost. The aim of this study was to evaluate sources of phosphatic fertilizers on the initial development of arabica coffee. The experiment was conducted in the area of the Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Seedlings of Arabica coffee cultivar Catucaí 785-15 with two pairs of true leaves were used and grown in pots with 10 dm³ of soil. The experimental design was completely randomized with four replications. Ten treatments were used (without P, superphosphate, organic granular, organic mineral powder with P-solubilizing microorganisms, organic mineral granulated phosphate, Bayóvar, termal phosphate, complex mineral powder with micronutrients, mineral complex with soluble P + P residual and organic mineral powder with soil conditioner). After 150 days were evaluated the plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, root volume, dry matter, P content in root and shoot in full and indexes agronomic efficiency of fertilizer. Phosphorus fertilization with biofertilizer granules resulted in better development of the coffee plants, and the highest rates of agronomic efficiency.

Key words: Phosphate fertilizer, Plant growth, Organic mineral.

4.1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura, além do aspecto econômico para o produtor e balança comercial do país, apresenta grande importância social, pois, demanda grande quantidade de mão de obra em toda sua cadeia de produção, principalmente em regiões de relevo mais acidentado (FERRÃO et al., 2007).

O manejo da fertilidade do solo é um dos principais fatores para a manutenção de uma cafeicultura sustentável (GUIMARÃES; REIS, 2010). Solos de regiões tropicais, devido ao avançado grau de intemperismo, apresentam elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al na fração argila, se tornando um importante dreno de P. Com isso apenas 5 a 20% do P solúvel aplicado é aproveitado pelo cafeeiro, dependendo da reação do P no solo (ALCARDE; PROCHNOW, 2003).

A importância do P na fase juvenil do cafeeiro está relacionada com a capacidade de aumentar significativamente o sistema radicular (GRANT et al., 2001), especialmente das raízes secundárias, o que contribui para o melhor aproveitamento de nutrientes (AMARAL et al., 2000). Com o crescimento da planta as raízes exploram um maior volume de solo suprindo sua demanda por esse nutriente. Além disso, pode haver associações micorrízicas que contribuem para a ampliação da capacidade de absorção de P pela planta (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1994; SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1995).

Em solos de regiões tropicais, onde a disponibilidade de fósforo é naturalmente muito baixa, há a necessidade de maior reposição desse nutriente em relação aos demais, para alcançar uma produção agrícola economicamente rentável (SOUSA et al., 2004).

As fontes de fósforo mais utilizadas na agricultura são os fosfatos solúveis em água, os termofosfatos e os fosfatos naturais e parcialmente acidulados. Algumas características desses adubos fosfatados, como solubilidade, teor de P, granulometria e elementos acompanhantes do fósforo, determinam o maior ou menor aproveitamento do nutriente pelas plantas (ALCARDE et al., 1989).

Para avaliar a capacidade potencial de uma fonte fosfatada na liberação do P disponível para as plantas, são utilizados vários índices como solubilidade em ácido cítrico a 2%, o equivalente em superfosfato triplo (EqST) e o índice de eficiência

agronômica (IEA). Os índices são calculados em relação a uma fonte padrão, com a fonte a ser testada, partindo-se do pressuposto de que a quantidade do P nativo do solo, absorvido pelas plantas, independe da dose de adubo aplicada (SANTOS; KLIEMANN, 2006).

A eficiência agronômica das fontes de fósforo também interfere no fornecimento de P ao cafeeiro, dependendo de sua composição química, granulometria e solubilidade. Quanto maior a solubilidade da fonte, mais rápida deve ser a adsorção pelas partículas do solo, assim como a difusão do P no processo de absorção pelas plantas (PROCHNOW et al., 2004; SOUSA et al., 2004).

O estudo da eficiência agronômica de fontes de fósforo é importante para orientar a indústria de transformação, bem como para recomendar ao produtor rural o melhor manejo para cada fonte (GOEDERT et al., 1986).

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação de fontes de adubo fosfatado no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica, bem como a avaliação da eficiência agronômica das fontes testadas.

4.2 - MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área e coleta do solo

O solo utilizado foi coletado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), situada às margens da rodovia ES 482, próxima ao Km 77, no município de Alegre - ES. O local de coleta foi caracterizado como de relevo forte ondulado a montanhoso, com cobertura vegetal de pastagem de *Brachiaria* sp. A amostra de solo foi retirada a uma profundidade de 20 - 60 cm.

4.2.2 Preparo e caracterização do solo

Após coletado, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 4,0 mm para o plantio das mudas. Foi retirada uma subamostra representativa e encaminhada ao laboratório para caracterização física e química (Tabela 1). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo utilizado como substrato

Atributos	
Areia (g kg ⁻¹) ¹	504,80
Silte (g kg ⁻³) ¹	27,26
Argila (g kg ⁻³) ¹	467,94
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ²	1,20
pH ³	5,80
P (mg dm ⁻³) ⁴	7,89
K (mg dm ⁻³) ⁵	50,00
Na (mg dm ⁻³) ⁵	8,00
Ca (cmol _c dm ⁻³) ⁶	0,59
Mg (cmol _c dm ⁻³) ⁶	0,60
Al (cmol _c dm ⁻³) ⁷	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁸	1,07
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,35
CTC potencial (cmol _c dm ⁻³)	2,42
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,35
Saturação por bases (%)	55,5
Saturação por alumínio (%)	0,00
Matéria orgânica (g kg ⁻¹) ⁹	19,10

1. Método da pipeta (agitação lenta); 2. Método da proveta; 3. pH em água (relação 1:2,5); 4. Extraído por Mehlich 1 e determinado por colorimetria; 5. Extraído por Mehlich 1 e determinado por fotometria de chama; 6. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; 7. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; 8. Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; e 9. Carbono orgânico (CO) extraído por oxidação, via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado por titulação. MO= CO x 1,724 (EMBRAPA, 1997).

4.2.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do CCA-UFES. Mudas de café arábica da cultivar Catucaí 785-15 com dois pares de folhas definitivas foram obtidas junto a viveiro registrado, e cultivadas em vasos com 10 dm^{-3} de solo.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições e parcelas experimentais constituídas de uma planta por vaso. Os 10 tratamentos foram obtidos pela utilização de fontes comerciais de fósforo (F1= Ausência de P; F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado: obtido pela utilização de cama de frango submetida ao processo de compostagem, secagem e granulação; F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P: obtido pela utilização de cama de frango submetida ao processo de compostagem, moagem e adição de fertilizante mineral fosfatado e uma seleção de microrganismos solubilizadores de P, estudados por Barroti e Nahas (2000); F5= Organomineral granulado: obtido pela utilização de cama de frango submetida ao processo de compostagem, secagem, granulação e enriquecido com carbonato de cálcio, fosfato natural reativo e fosfato monoamônico; F6= Fosfato de Bayóvar: é um fosfato de origem sedimentar e orgânico, formado pela deposição e posterior decomposição de restos de animais marinhos; F7= Termofosfato magnésiano: composto do tratamento térmico a, no mínimo, $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ (fundição), do fosfato natural com adição de compostos magnesianos e sílicos (dolomitos, serpentinitos, escórias magnesianas) com rápido resfriamento da mistura por jateamento de água, secagem e moagem; F8= Complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes: constituído por superfosfato simples, fosfato natural de Djebel-Onk e fontes solúveis de magnésio e micronutrientes; F9= Complexo mineral com P solúvel + P residual: constituído por superfosfato simples e fosfato natural de Djebel-Onk; F10= Organomineral em pó com turfa: constituído de fosfato monoamônico, turfa *in natura* e carbonato de cálcio). As características químicas dos fertilizantes estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos fertilizante fosfatados utilizados no experimento

Identificação	Garantias
F1	Ausência de aplicação de P
F2	18% de P_2O_5 total; 16% de Ca; 8% de S
F3	11,5% de P_2O_5 total; 1,7 % de K_2O ; 1,2% de N; 17,6% de Ca; 3,7% de Mg; 2,4% de S; 0,5% soma de micros; 20,2% de M. O
F4	10% de P_2O_5 total; 1,8% de P_2O_5 Ácido Cítrico; 0,50% de N; 15% de Ca; 0,20% de Mg; 3% de S; 0,20% de Mn; 0,10% de Zn; 15% de M.O; 200 mmol _c /kg de CTC
F5	20,3% de P_2O_5 total; 1,5% de K_2O ; 3,2% de N; 15,8% de Ca; 1,1% de Mg; 0,3% de S; 0,4% soma de micros; 18,1% de M.O
F6	29% de P_2O_5 total; 15% de Ca
F7	17,5% de P_2O_5 total; 18% de Ca; 7% de Mg; 0,1% de B; 0,05% de Cu; 0,30% de Mn; 10% de Si; 0,55% de Zn
F8	18% de P_2O_5 total; 18% de Ca; 5% de S; 7% Mg; 0,2% de Cu; 0,8% de Mn; 0,8% de Zn
F9	24% de P_2O_5 total; 26% de Ca; 4% de S
F10	15 % de P_2O_5 total; 3% de N; 18,9% de M.O.; 500 mmol _c /kg de CTC

A recomendação da adubação foi efetuada de acordo com o proposto por Novais et al. (1991), utilizando 300 mg/dm³ de P, considerando apenas o conteúdo de P_2O_5 dos fertilizantes, com os adubos fosfatados incorporados totalmente ao volume de solo do vaso. Em seguida realizou-se o plantio das mudas de café.

As adubações potássica (150 mg dm⁻³) com KCl P. A. e nitrogenada (100 mg dm⁻³) com NH_2CONH_2 P. A., foram divididas em quatro aplicações, aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio das mudas. Os sais foram diluídos em água e aplicados na superfície dos vasos, de forma circular, distante 10 cm do coleto da planta.

A irrigação foi realizada diariamente, mantendo-se a umidade próxima a 60% do volume total de poros para todas as unidades experimentais, através de pesagens periódicas. O manejo fitossanitário e de plantas indesejáveis foram realizados manualmente, quando necessário.

4.2.4 Avaliações

Aos 150 dias de cultivo, avaliou-se: a altura das plantas com o auxílio de uma régua graduada; o diâmetro do caule com auxílio de um paquímetro e número de folhas e a área foliar: utilizando integrador de área foliar LI-COR 3100.

Os índices de clorofila total das plantas foram obtidos através do aparelho digital ClorofiLOG modelo CFL 1030, com valores expressos em unidades adimensionais próprias do aparelho, Índice de Clorofila Falker (ICF) (FALKER, 2008). As medições foram realizadas na parte mediana das plantas, amostrando-se nos quatro quadrantes da planta, uma par de folhas para cada ponto amostrado.

Posteriormente, as plantas foram cortadas rente ao solo, sendo divididas em raiz, caule e folhas. O material radicular colhido foi lavado para a determinação do volume de raiz com o auxílio de uma proveta graduada, medindo-se o volume de água deslocado com a imersão das raízes, determinando assim seu volume.

Em seguida o material radicular e o da parte aérea foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante, sendo pesado para determinação da matéria seca.

Os materiais vegetais secos foram triturados em moinho tipo Wiley e submetidos à digestão nítrico-perclórica, e nos extratos procedeu-se as determinações dos teores de P de acordo com Silva (1999).

A partir da matéria seca e dos acúmulos de P (teor de P x matéria seca) na planta, foram calculados os índices abaixo.

Equação 1: $IEA (\%) = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$, (GOEDERT; LOBATO, 1984)

Em que: IEA = Índice de Eficiência Agronômica; Y1 = Produção de matéria seca da parte aérea obtida pelo tratamento testemunha (sem aplicação de P); Y2 = Produção de matéria seca da parte aérea obtida com a fonte testada (F2, F3 ...); e Y3 = Produção de matéria seca da parte aérea obtida pela fonte referência (F2).

Equação 2: $EqF2 (\%) = (PF2/Pn) 100$, (GOEDERT; LOBATO, 1984; MOREIRA et al., 2002)

Em que: EqF2 = Equivalente em superfosfato simples; PF2 = Produção de matéria seca da parte aérea obtida com a fonte solúvel (F2); e Pn = Produção de matéria seca da parte aérea obtida com a fonte testada (FN).

Equação 3: $EF = (PTBcf - PTBsf) / (ANcf - ANsf)$, dada em $mg\ mg^{-1}$, (FAGERIA et al., 2010)

Em que: EF = Eficiência fisiológica; PTBcf = Produção total biológica com fertilizante; PTBsf = produção total biológica sem fertilizante; ANcf = Acumulação de nutriente com fertilizante; e ANsf = Acumulação de nutriente sem fertilizante.

Equação 4: $ER = (ANcf - ANsf) / (QNa) \times 100$, dada em percentagem, (FAGERIA et al., 2010)

Em que: ER = Eficiência de recuperação; ANcf = Acumulação de nutriente com fertilizante; ANsf = Acumulação de nutriente sem fertilizante; e QNa = Quantidade de nutriente aplicado.

4.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, foi utilizado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na análise de variância (Apêndice A) que as variáveis: diâmetro do caule, número de folhas e área foliar são significativas ao nível de 5% de significância e a variável CLTMED não é significativa ao nível de 5% de significância.

Para o diâmetro do caule formou-se três grupos de médias, quantidade de folha seis grupos e área foliar das plantas de café quatro grupos de média, sendo observado que quando aplicado o fertilizante organomineral granulado (F5) obteve-se as maiores médias (Tabela 2). Possivelmente houve um melhor aporte de nutrientes às plantas, favorecido pelo conteúdo de matéria orgânica do fertilizante, o que conseqüentemente proporcionou maiores valores dessas variáveis. Novais e Smyth (1999) explicam que a dissolução de um fertilizante de baixa solubilidade é favorecida particularmente pela presença de matéria orgânica, que compete com os sítios de adsorção de P na solução do solo, no sentido de diminuir a intensidade desse fenômeno.

Tabela 2 - Diâmetro do caule (DC), altura de plantas (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e clorofila total média (CLTMED) de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Tratamentos	DC (mm)	AP (cm)	NF	AF (cm ²)	CLTMED (ICF)
F1	4,36 c	23,97 b	11,00 f	341,25 d	67,44 a
F2	5,33 b	35,35 a	59,00 b	1841,50 b	67,26 a
F3	5,53 b	26,00 b	29,50 e	1263,75 c	72,20 a
F4	4,41 c	32,12 a	35,75 e	1354,00 c	65,55 a
F5	9,11 a	35,35 a	76,00 a	2715,75 a	74,70 a
F6	5,86 b	34,57 a	44,25 d	1438,50 c	73,41 a
F7	5,55 b	28,70 b	29,75 e	992,250 c	71,42 a
F8	6,53 b	31,82 a	41,00 d	1352,75 c	70,66 a
F9	6,71 b	37,17 a	48,50 c	1814,00 b	66,00 a
F10	6,19 b	26,05 b	31,25 e	1088,00 c	69,27 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). F1= Ausência de aplicação de P; F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado; F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P; F5= Organomineral granulado; F6= Fosfato de Bayóvar; F7= Termofosfato magnesiano; F8= Complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes; F9= Complexo mineral com P solúvel + P residual; e F10= Organomineral em pó com turfa.

A altura das plantas formou dois grupos de médias, o grupo com as maiores médias foi composto pelos fertilizantes superfosfato simples (F2), organomineral em pó (4), organomineral granulado (F5), fosfato de Bayóvar (F6), complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes (F8) e complexo mineral com P solúvel + P residual (F9), enquanto o grupo com as menores médias é formado pela ausência de adubação fosfatada (F1), orgânico granulado (F3), termofosfato magnésiano (F3) e organomineral em pó com turfa (F10) (Tabela 2).

Segundo Mexal e Lands (1990) e Carneiro (1995), a altura das plantas fornece uma estimativa da predição do crescimento inicial, e da capacidade de sobrevivência das mudas no campo, e quando combinada com o diâmetro do caule constitui importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das mudas.

As leituras do teor de clorofila total das plantas de café não se diferenciaram com a aplicação dos fertilizantes fosfatados. Esse fato pode estar relacionado à metodologia adotada na avaliação, sendo que as medições foram realizadas na parte mediana da planta, que tendem a não apresentar sintomas de deficiência de clorofila, visto que as deficiências de fósforo em cafeeiro aparecem nas folhas mais velhas que caem prematuramente, não sendo assim detectadas nas avaliações.

Verifica-se na análise de variância (Apêndice B) que as variáveis matéria seca de raiz, matéria seca da parte aérea, matéria seca total e a relação matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea, são significativos ao nível de 5% de significância. Para a produção de matéria seca de raiz, da parte aérea e total das plantas de café foi observado que o grupo formado pela maior média da aplicação do fertilizante organomineral granulado (F5), seguido do superfosfato simples (F2) (Tabela 3), enquanto a ausência de fertilização fosfatada (F1) foi responsável pelo grupo de menor produção de matéria seca.

O P propicia maior desenvolvimento de raízes, pois atua na taxa fotossintética das folhas e, em condições adequadas de suprimento, as folhas produzem mais fotoassimilados, os quais são redistribuídos para as raízes, onde auxiliam no desenvolvimento, respiração e outras funções como a absorção de íons (MARSCHNER, 1995). Com isso, na falta de um suprimento adequado de P, a

respiração do sistema radicular é afetada, prejudicando o crescimento de raízes e a absorção de nutrientes pelas plantas.

Tabela 3 - Produção de matéria seca de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) e a relação entre matéria seca de raízes e parte aérea (MSR/MSPA) de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Tratamentos	MSR	MSPA	MST	MSR/MSPA
	----- g/planta -----			
F1	1,57 e	3,35 f	4,92 e	0,47 a
F2	4,75 b	18,68 b	23,43 b	0,25 b
F3	2,53 d	8,33 e	10,86 d	0,33 b
F4	2,98 d	14,11 c	17,09 c	0,21 b
F5	7,96 a	27,87 a	35,82 a	0,28 b
F6	3,80 c	13,73 c	17,53 c	0,28 b
F7	2,62 d	9,63 d	12,29 d	0,27 b
F8	2,79 d	11,54 d	14,33 d	0,25 b
F9	3,74 c	14,08 c	17,81 c	0,27 b
F10	2,60 d	10,64 d	13,24 d	0,25 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). F1= Ausência de aplicação de P; F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado; F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P; F5= Organomineral granulado; F6= Fosfato de Bayóvar; F7= Termofosfato magnesiano; F8= Complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes; F9= Complexo mineral com P solúvel + P residual; F10= Organomineral em pó com turfa.

Para a relação MSR/MSPA, o grupo formado pela maior média é na ausência de fertilização fosfatada, que difere dos demais tratamentos. O aumento na relação MSR/MSPA sob baixo suprimento ou deficiência de P tem sido observado em diversas espécies cultivadas (FÖHSE et al., 1988; FURLANI et al., 2002; BRASIL et al., 2007). A limitação nutricional ocasiona uma maior redução no crescimento da parte aérea do que das raízes, fato que demonstra que as raízes tornam-se drenos preferenciais dos assimilados (MARSCHNER, 1995), assumindo mecanismos morfológicos de adaptação ao estresse de P, como um sistema radicular com maior superfície de contato com o solo (MACHADO et al., 2004).

Verifica-se na análise de variância (Apêndice C) que as variáveis acúmulo de fósforo na raiz (ACUMPR), acúmulo de fósforo na parte aérea (ACUMPPA), acúmulo de

fósforo total (ACUMPT) e relação entre acúmulo de fósforo na raiz e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACUMPR/PPA) são significativas a 5% de significância.

O P acumulado na matéria seca das raízes, parte aérea e total das plantas de café formou o grupo com as maiores médias, quando aplicado o fertilizante organomineral granulado (F5) (Tabela 4), superando a média do acúmulo de P na raiz e parte aérea em mais de oito vezes, e no acúmulo total em mais de sete vezes, em relação ao tratamento sem aplicação de P.

Tabela 4 - Acúmulo de fósforo na raiz (ACUMPR), acúmulo de fósforo na parte aérea (ACUMPPA), acúmulo de fósforo total (ACUMPT) e relação entre acúmulo de fósforo na raiz e acúmulo de fósforo na parte aérea (ACUMPR/PPA) de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Tratamentos	ACUMPR	ACUMPPA	ACUMPT	ACUMPR/PPA
	----- mg/planta -----			
F1	0,27 c	65,95 d	97,86 d	0,0041 a
F2	1,27 b	322,97 b	411,08 b	0,0040 a
F3	0,87 c	180,73 c	239,29 c	0,0053 a
F4	0,44 c	306,70 b	374,76 b	0,0014 b
F5	2,32 a	554,33 a	722,72 a	0,0042 a
F6	1,21 b	270,83 b	351,41 b	0,0045 a
F7	0,73 c	193,60 c	249,70 c	0,0038 a
F8	0,66 c	212,27 c	266,01 c	0,0035 a
F9	0,78 c	288,94 b	369,24 b	0,0027 b
F10	0,54 c	183,77 c	231,41 c	0,0031 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). F1= Ausência de aplicação de P; F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado; F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P; F5= Organomineral granulado; F6= Fosfato de Bayóvar; F7= Termofosfato magnesiano; F8= Complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes; F9= Complexo mineral com P solúvel + P residual; e F10= Organomineral em pó com turfa.

Quando aplicado os fertilizantes orgânico granulado (F3), organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P (F4), termofosfato magnesiano (F7), complexo mineral em pó com microrganismos solubilizadores de P (8), complexo mineral com P solúvel + P residual (F9) e organomineral em pó com turfa (10), o P acumulado na raiz

mostrou-se no mesmo grupo do tratamento que não recebeu fertilização fosfatada, possivelmente devido ao fato da quantidade de P na solução do solo estar abaixo da concentração mínima requerida para que haja acúmulo do P absorvido, sendo o P destinado a suprir as necessidades da parte aérea, como observado por Clarkson (1985).

A relação entre o conteúdo de P acumulado na matéria seca das raízes e da parte aérea (ACUMPR/PPA) foi maior na maioria dos fertilizantes aplicados, o que geralmente é relacionado como característica de espécies eficientes na absorção de P, sob deficiência deste nutriente (FÖHSE et al., 1988). Somente os fertilizantes organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P, complexo mineral com P solúvel + P residual e organomineral em pó com turfa formou o grupo com os menores valores para a relação ACUMPR/PPA, o que indica menor retenção do P absorvido nas raízes e/ou menor translocação de P da parte aérea às raízes dos fertilizantes (MARSCHNER, 1995).

A existência de um comportamento diferencial na nutrição fosfatada implica também na existência de uma diferenciação nos mecanismos de absorção, translocação e redistribuição do nutriente, bem como sua utilização nos diversos processos metabólicos, o que irá permitir a planta desenvolver-se adequadamente de acordo com as suas necessidades (CLARKSON; HANSON, 1980).

Os índices de eficiência agrônômica (IEA) calculados com referência ao superfosfato simples (F2), evidenciam que o fertilizante organomineral granulado (F5) destacou-se quanto ao potencial de suprimento de P às plantas de café (Tabela 5), sendo requerido apenas 67% da quantidade de superfosfato simples, para o mesmo efeito. O fertilizante orgânico granulado (F3) requereu 2,25 vezes a quantidade de superfosfato simples.

O IEA das fontes estudadas indica que esses fertilizantes oferecem boas perspectivas de uso na cultura do café, necessitando ainda de avaliações do custo e benefício para utilização das mesmas.

O uso do fertilizante organomineral granulado (F5) correspondeu à recuperação de 16,35% do P fornecido. O melhor aproveitamento do P pode estar relacionado com a presença da matéria orgânica no fertilizante organomineral, o que possivelmente

contribui para a redução da adsorção de P no solo, através da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de P nas superfícies dos óxidos de ferro e alumínio (HUE, 1991; FONTES et al., 1992; PIZAURO JUNIOR; MELO, 1995).

Tabela 5 - Índice de eficiência agrônômica (IEA) dos fertilizantes fosfatados, equivalente em superfosfato simples (EQ), eficiência fisiológica (EF) e eficiência de recuperação (ER) de plantas de café arábica (CV Catucaí 785-15) sob fontes de P

Tratamentos	IEA (%)	EQ (%)	EF (mg/mg)	ER (%)
F2	-	-	0,0710	8,60
F3	32,49	224,27	0,0498	3,85
F4	70,21	132,36	0,0497	8,03
F5	159,95	67,02	0,0626	16,35
F6	67,75	136,00	0,0603	6,86
F7	41,00	193,92	0,0556	4,27
F8	53,47	161,79	0,0628	4,89
F9	70,01	132,66	0,0568	7,45
F10	47,56	175,57	0,0688	3,94

F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado; F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P; F5= Organomineral granulado; F6= Fosfato de Bayóvar; F7= Termofosfato magnésiano; F8= Complexo mineral em pó com P solúvel + P residual e micronutrientes; F9= Complexo mineral com P solúvel + P residual; e F10= Organomineral em pó com turfa.

A magnitude dos valores de recuperação de P observados foi pequena, considerando o significativo caráter dreno de P dos solos tropicais, corroborando com Novais e Smyth (1999), que evidenciaram a influência da natureza do solo na eficiência de aproveitamento do P no sistema.

As fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas, em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (MARINHO; ALBUQUERQUE, 1980). Em solos com alto efeito residual, esse fertilizante poderá ter papel importante, promovendo a solubilidade gradual e eficiente do fósforo e de outros elementos.

Figueiredo Filho (2002), em trabalho realizado na região canavieira de Alagoas, verificou que o fosfato de Gafsa apresentou resultados de produtividades superiores ao MAP e ao superfosfato simples. Possivelmente, a sequência de adubações

fosfatadas ao longo do tempo promoveu a saturação da superfície de adsorção, resultando na redução da energia de ligação de fósforo com a superfície das argilas, disponibilizando assim, maior quantidade de fósforo ligado com menor energia para a cultura (COSTA et al., 2006).

4.4 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada utilizando o fertilizante organomineral granulado promove melhor desenvolvimento inicial das plantas de café.

O fertilizante organomineral granulado apresenta, em comparação às demais fontes de P, maior eficiência agronômica, equivalente em superfosfato simples e recuperação do P aplicado pelas plantas de café, nas condições estudadas

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, C. J.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2003. p. 4. (Informações Agronômicas, 102).

ALCARDE, J. A.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1989. 35 p. (ANDA. Boletim Técnico).

AMARAL, A. S.; 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&DCafé/EMBRAPA/SAESP/COOPEMAR/PMM, 2000. p. 63-64.

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. de. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 704-712, 2007.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF/ UENF, 1995. 451 p.

CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 36, p. 77-115, 1985.

CLARKSON, D. T., HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 239–298, 1980.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; MORAES, M. F. Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 22, p. 2676-2684, 2010.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre: 33 p. 2008.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIM FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: Ferrão, R. G. et al. (ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. p. 66-91.

FIGUEIREDO FILHO, C. P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 259-263.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 110, n. 1, p. 101-109, 1988.

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

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; DELGADO, M. D. P. Variability of soybean germoplasm in relation to phosphorus uptake and use efficiency. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 59, n. 3, p. 529-536, 2002.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfato em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, M. G. de; REIN, T. A. **Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo**. Planaltina, Embrapa, 1986. 23 p.

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, Piracicaba, Instituto Potafos, 2001.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: UR Epamig SM, 2010. p. 343-414.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, Madison, v. 152, n. 6, p. 463-471, 1991.

MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; FURLANI, A. C. Variação intrapopulacional em milho para características relacionadas com a eficiência de absorção e utilização de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 77-91, 2004.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análise foliar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1, 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, v. 2, p. 328-333, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2° ed. London: Academic Press, 1995, 888 p.

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

MEXAL, J. L.; LANDS, T. D. **Target seedling concepts: height and diameter**. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990, Roseburg. Proceedings... Fort. Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 17-35.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAIS, L.A.C. Eficiência de fontes de fósforo na alfafa e centrocema cultivadas em Latossolo Amarelo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, p. 1459-1466, 2002.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Eds.). **Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, DF. p. 189-255. 1991.

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

PIZAURO Jr., J. M.; MELO, W. J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 95-103, 1995.

PROCHNOW, L. I.; CHIEN, S. H.; CARMONA, G.; HENAO, J. Greenhouse evaluation of phosphorus sources produced from a low-reactive brazilian phosphate rock. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 761-768, 2004.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 221-228, 1995.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 27-36, 1994.

SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de fosfatos naturais relacionada à produtividade de milho em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 2, p. 75-81, 2006.

SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, A. T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168

APÊNDICES

Apêndice A - Análise de variância do diâmetro do caule – DC (mm), altura de plantas – AT (cm), número de folhas - NF, área foliar – AF (cm²) e clorofila total média – CLTMED (ICF) de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		DC	AT	NF	AF	CLTMED
Fertilizante	9	7,3703*	86,5418*	1286,9555*	1556620,66*	40,4455 ^{ns}
Resíduo	30	0,7006	31,6449	38,6333	60036,7916	25,1902
Média geral		5,96	31,11	40,60	1420,17	69,79
CV (%)		14,04	18,08	15,31	17,25	7,19

Apêndice B - Análise de variância da produção de matéria seca de raízes – MSR (g planta⁻¹), da parte aérea – MSPA (g planta⁻¹) e total – MST (g planta⁻¹) e a relação entre matéria seca de raízes e parte aérea – MSR/MSPA de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MSR	MSPA	MST	MSR/MSPA
Fertilizante	9	12,6966*	173,2889*	277,0410*	0,0204*
Resíduo	30	0,3589	5,3049	6,5529	0,0032
Média geral		3,53	13,19	16,73	0,29
CV (%)		16,95	17,46	15,30	19,46

Apêndice C - Análise de variância do acúmulo de fósforo na raiz – ACUMPR (mg/planta), acúmulo de fósforo na parte aérea – ACUMPPA (mg/planta), acúmulo de fósforo total – ACUMPT (mg/planta) e relação entre acúmulo de fósforo na raiz e acúmulo de fósforo na parte aérea – ACUMPR/PPA de plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) sob fontes de P

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		ACUMPR	ACUMPPA	ACUMPT	ACUMPR/PPA
Fertilizante	9	1,3669*	66723,4215*	109849,4807*	0,000005*
Resíduo	30	0,1010	2870,1521	3760,7169	0,000001
Média geral		0,91	258,00	331,34	0,0037
CV (%)		34,08	20,76	18,51	30,01

5 CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E QUALIDADE DE PLANTAS DE CAFEIEIRO ARÁBICA EM RESPOSTA A FONTES E DOSES DE FÓSFORO

RESUMO

Dentro do sistema produtivo, a utilização de plantas de qualidade e com bom desenvolvimento é um fator essencial para o sucesso da atividade cafeeira. O manejo nutricional das mudas é uma das mais importantes práticas que influenciam na sua qualidade. O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de cafeeiro arábica em resposta a fontes e doses de fósforo. O experimento foi conduzido na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Foram utilizadas mudas de café arábica da cultivar Catucaí 785-15 com dois pares de folhas definitivas, cultivadas em vaso com 10 dm³ de solo. O experimento foi montado no esquema fatorial 3 x 5, sendo fertilizantes em três níveis (superfosfato simples, orgânico granulado e organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P) e doses em cinco níveis (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de P). Aos 150 dias de cultivo, foram avaliados: o número de ramos plagiotrópicos, a altura das plantas, o diâmetro do caule, o número de folhas, a área foliar, a matéria seca da parte aérea, a matéria seca de raiz, a matéria seca total, o volume de raiz, a relação altura da planta/ diâmetro do caule, relação da matéria seca da parte aérea/ matéria seca de raiz e o índice de qualidade de Dickson. A fertilização com superfosfato simples proporciona mudas mais desenvolvidas e com melhor qualidade. Há aumento do índice de qualidade das mudas de cafeeiro quando aplicado o fertilizante superfosfato simples até a dosagem de 150%, e para os fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó, há aumento linear até a dose 200% da recomendação de adubação fosfatada.

Palavras-chave: Análise de crescimento, Fertilização, Índice de Dickson.

ABSTRACT

Within the production system, the use of quality seedlings and good development is an essential factor for the success of the coffee industry. Nutritional management of seedlings is one of the most important practices that influence their quality. The aim of this study was to evaluate the growth and quality of Arabica coffee seedlings in response to sources and levels of phosphorus. The experiment was conducted in the area of the Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Seedlings of Arabica coffee cultivar Catucaí 785-15 with two pairs of true leaves were used and grown in pots with 10 dm³ of soil. The treatments consisted of using three fertilizers (superphosphate, organic granular and organic mineral powder with P-solubilizing microorganisms) in five doses (0, 50, 100, 150 and 200% of the recommended P). After 150 days of culture, were evaluated the number of reproductive branches, plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, shoot dry matter, root dry matter, total dry matter, root volume, relative plant height / stem diameter ratio of the dry matter of shoot / root dry matter and quality index Dickson. Fertilization with superphosphate provides seedlings and more developed with better quality. There is an increased level of quality of the coffee seedlings when applied superphosphate fertilizer dosage to 150%, and the granulated organic fertilizer and organic mineral powder, there is a linear increase to 200% of the recommended dose of phosphorus.

Key words: Analysis of growth, Fertilization, Index Dickson.

5.1 INTRODUÇÃO

Na cultura do cafeeiro, a utilização de mudas de qualidade, uniformes e com bom desenvolvimento é fundamental dentro do sistema produtivo, a fim de reduzir a porcentagem de replantio e, portanto, garantir o bom desenvolvimento e a produção da planta no campo (CUNHA et al., 2002; MARCUZZO, et al., 2005; DIAS; MELO, 2009).

As variáveis mais utilizadas na determinação do padrão de qualidade para predizer o desempenho das mudas após plantio são: altura das plantas, diâmetro do caule, peso seco da parte aérea e radicular, peso seco total, teor de clorofila e Índice de Qualidade de Dickson (CARNEIRO, 1995).

O crescimento de uma planta é dependente do nível de cada nutriente essencial (MARSCHNER, 1995). O fósforo (P) está entre os elementos mais importantes para o vigor e o desenvolvimento das plantas (CECATTO et al., 2007). Já nas fases iniciais de crescimento, as limitações de P podem resultar em restrições do desenvolvimento, dos quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de nutrientes a níveis adequados (GRANT et al., 2001).

Novais e Smyth (1999) destacam que em Latossolo de textura média e argilosa o P adicionado é fixado pelos minerais da fração argila (principalmente oxihidróxidos de Fe e Al) e pelos íons de Fe e Al na solução do solo, exigindo a necessidade de aplicação de quantidades mais elevada que a exigida pela planta (MESQUITA, et al, 2004).

Para suprir a exigência elevada em P, a reposição no solo é feita através da aplicação de adubos minerais. Entretanto, devido à dependência internacional de fertilizantes e as pressões ambientais por parte dos órgãos ligados ao meio ambiente, alavancaram o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de fertilizantes mais sustentáveis (ISHERWOOD, 2000).

O estudo de resíduo orgânico enriquecido com fertilizantes minerais permite desenvolver novas fontes de nutrientes para a produção agrícola brasileira, com a obtenção de formulações equivalentes às utilizadas na adubação convencional do cafeeiro.

Segundo Kiehl (1999), a associação de fertilizantes orgânicos e minerais é vantajosa, pois o adubo orgânico pode reter certos nutrientes do fertilizante mineral contra a lavagem pelas águas das chuvas no caso de solos arenosos, além de complexar com íons de Fe e Al, reduzindo, deste modo, a precipitação do fósforo em solos mais argilosos e intemperizados.

Fernades e Testezlaf (2002) destacam que a principal razão para se adicionar certa porção de nutrientes minerais aos fertilizantes orgânicos é aumentar a taxa de mineralização dos nutrientes, principalmente N, P e K. A longo prazo, pode estimular a proliferação de microrganismos benéficos, que irá agir na solubilização dos fertilizantes, liberando assim, nutrientes para as plantas, além de atuar na reestruturação do solo (SIX, 2000).

Neste contexto, buscou-se avaliar o desenvolvimento inicial e a qualidade de mudas de cafeeiro arábica em resposta a fontes e doses de fósforo.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área e coleta do solo

O solo utilizado foi coletado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), situada às margens da rodovia ES 482, próxima ao Km 77, no município de Alegre - ES. O local de coleta foi caracterizado como de relevo forte ondulado a montanhoso, com cobertura vegetal de pastagem de *Brachiaria* sp. A amostra de solo foi retirada a uma profundidade de 20 - 60 cm.

5.2.2 Preparo e caracterização do solo

Após coletado, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 4,0 mm para o plantio das mudas. Foi retirada uma subamostra representativa e encaminhada ao laboratório para caracterização física e química (Tabela 1). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo utilizado como substrato

Atributos	
Areia (g kg ⁻¹) ¹	504,80
Silte (g kg ⁻³) ¹	27,26
Argila (g kg ⁻³) ¹	467,94
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ²	1,20
pH ³	5,80
P (mg dm ⁻³) ⁴	7,89
K (mg dm ⁻³) ⁵	50,00
Na (mg dm ⁻³) ⁵	8,00
Ca (cmol _c dm ⁻³) ⁶	0,59
Mg (cmol _c dm ⁻³) ⁶	0,60
Al (cmol _c dm ⁻³) ⁷	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁸	1,07
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,35
CTC potencial (cmol _c dm ⁻³)	2,42
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,35
Saturação por bases (%)	55,5
Saturação por alumínio (%)	0,00
Matéria orgânica (g kg ⁻¹) ⁹	19,10

1. Método da pipeta (agitação lenta); 2. Método da proveta; 3. pH em água (relação 1:2,5); 4. Extraído por Mehlich 1 e determinado por colorimetria; 5. Extraído por Mehlich 1 e determinado por fotometria de chama; 6. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; 7. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; 8. Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; e 9. Carbono orgânico (CO) extraído por oxidação, via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado por titulação. MO= CO x 1,724 (EMBRAPA, 1997).

5.2.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do CCA-UFES. Mudas de café arábica da cultivar Catucaí 785-15 com dois pares de folhas definitivas foram obtidas junto a viveiro registrado, e cultivadas em vasos com 10 dm³ de solo.

Os tratamentos foram obtidos pela combinação de três fontes comerciais de fósforo (Tabela 2), em cinco doses (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de fósforo), com quatro repetições, num delineamento experimental inteiramente casualizado e parcelas experimentais constituídas de uma planta por vaso.

Tabela 2 – Caracterização dos fertilizante fosfatados utilizados no experimento

Identificação	Garantias
F2	18% de P ₂ O ₅ total; 16% de Ca; 8% de S
F3	11,5% de P ₂ O ₅ total; 1,7 % de K ₂ O; 1,2% de N; 17,6% de Ca; 3,7% de Mg; 2,4% de S; 0,5% soma de micros; 20,2% de M.O
F4	10% de P ₂ O ₅ total; 0,50% de N; 15% de Ca; 0,20% de Mg; 3% de S; 0,20% de Mn; 0,10% de Zn; 15% de M.O; 200 mmol _c dm ⁻³ de CTC

F2= Superfosfato simples; F3= Orgânico granulado; e F4= Organomineral em pó com microrganismos solubilizadores de P.

O superfosfato simples é produzido pela reação da apatita com o ácido sulfúrico. O fertilizante orgânico granulado é obtido pela utilização de cama de frango submetida ao processo de compostagem, granulação e secagem. O fertilizante organomineral em pó é obtido pela utilização de cama de frango submetida ao processo de compostagem, moagem e adição de fertilizante mineral fosfatado e uma seleção de microrganismos solubilizadores de P estudados por Barroti e Nahas (2000).

A recomendação da adubação foi de acordo com o proposto por Novais et al. (1991), com o balanço nutricional dos fertilizantes realizado somente para o P₂O₅, com os adubos fosfatados incorporados totalmente ao volume de solo do vaso. Em seguida realizou-se o plantio das mudas de café.

As doses aplicadas nos tratamentos referentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de P para a cultura, consistiram de 0; 3,43; 6,87; 10,30 e 13,74 g vaso⁻¹ de P₂O₅.

As adubações potássica (150 mg dm⁻³) com KCl P. A. e nitrogenada (100 mg dm⁻³) com NH₂CONH₂ P. A. foram divididas em quatro aplicações aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio das mudas. Os sais foram diluídos em água e aplicados na superfície dos vasos, de forma circular, distante 10 cm do coleto da planta.

A irrigação foi realizada diariamente, mantendo-se a umidade próxima a 60% do volume total de poros para todas as unidades experimentais através de pesagens periódicas. O manejo fitossanitário e de plantas indesejáveis foram realizados, quando necessário.

5.2.4 - Avaliações

Aos 150 dias de cultivo, avaliou-se: o número de ramos plagiotrópicos; a altura das plantas com o auxílio de uma régua graduada; o diâmetro do caule com auxílio de um paquímetro; o número de folhas; e a área foliar, utilizando integrador de área foliar LICOR 3100.

Posteriormente, as plantas foram cortadas rente ao solo, sendo divididas em raiz, caule e folhas. O material radicular colhido foi lavado e inserido em uma proveta graduada para medir o volume de raiz, de acordo com a água deslocada.

Em seguida, o material radicular e da parte aérea foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante, sendo pesado para determinação da matéria seca.

Calculou-se a relação da matéria seca da parte aérea com a matéria seca de raízes (RPAR); relação da altura da parte aérea com o diâmetro do caule (RAD); e o índice de qualidade de Dickson (IQD), obtido pela fórmula $IQD = \frac{\text{matéria seca total (matéria seca da parte aérea + matéria seca radicular)}}{RAD + RPAR}$ (DICKSON et al., 1960).

5.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, foram submetidos à análise de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação (R^2).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito das doses dos fertilizantes superfosfato simples e organomineral em pó sobre o número de ramos plagiotrópicos é positivo linear, enquanto que para o fertilizante orgânico granulado não foi possível ajustar um modelo de regressão em função do aumento das doses de P aplicado ao solo (Figura 1).

Analisando o comportamento da altura das plantas, observa-se que foram alcançados pontos máximos de crescimento correspondente à dose de 149,76% da recomendação para o fertilizante superfosfato simples, 136,68% para o fertilizante orgânico granulado e 137,42% para o fertilizante organomineral em pó. As demais características alcançaram pontos máximos de crescimento correspondente às doses de 149,63% para a matéria seca da parte aérea até 170,35% para a matéria seca de raiz quando aplicado às doses do superfosfato simples.

Observa-se que, na dose zero de fertilização fosfatada, as características de crescimento das plantas estudadas apresentam os menores valores. Isso comprova a necessidade de adubação fosfatada para um bom desenvolvimento das mudas (MULLER et al., 1997). Por outro lado, as maiores doses dos fertilizantes organominerais não foram suficientes para que as plantas de café desenvolvessem o máximo de sua potencialidade.

As causas do pior desempenho dos fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó, em relação ao superfosfato simples, devem ser explicadas pelas diferenças físicas, químicas e suas relações com o solo. Uma possível razão é a de que o tempo da realização do experimento foi curto. Para Branco (2001), a longo prazo, a reação ou decomposição da matéria orgânica contida nos fertilizantes ocasionaria a liberação gradual do fósforo no solo. Já que a formação de complexos entre os fosfatos e a matéria orgânica, com o recobrimento do fosfato pela matéria orgânica, possibilita ao fósforo ficar retido por um prazo relativamente longo (OBA, 2009).

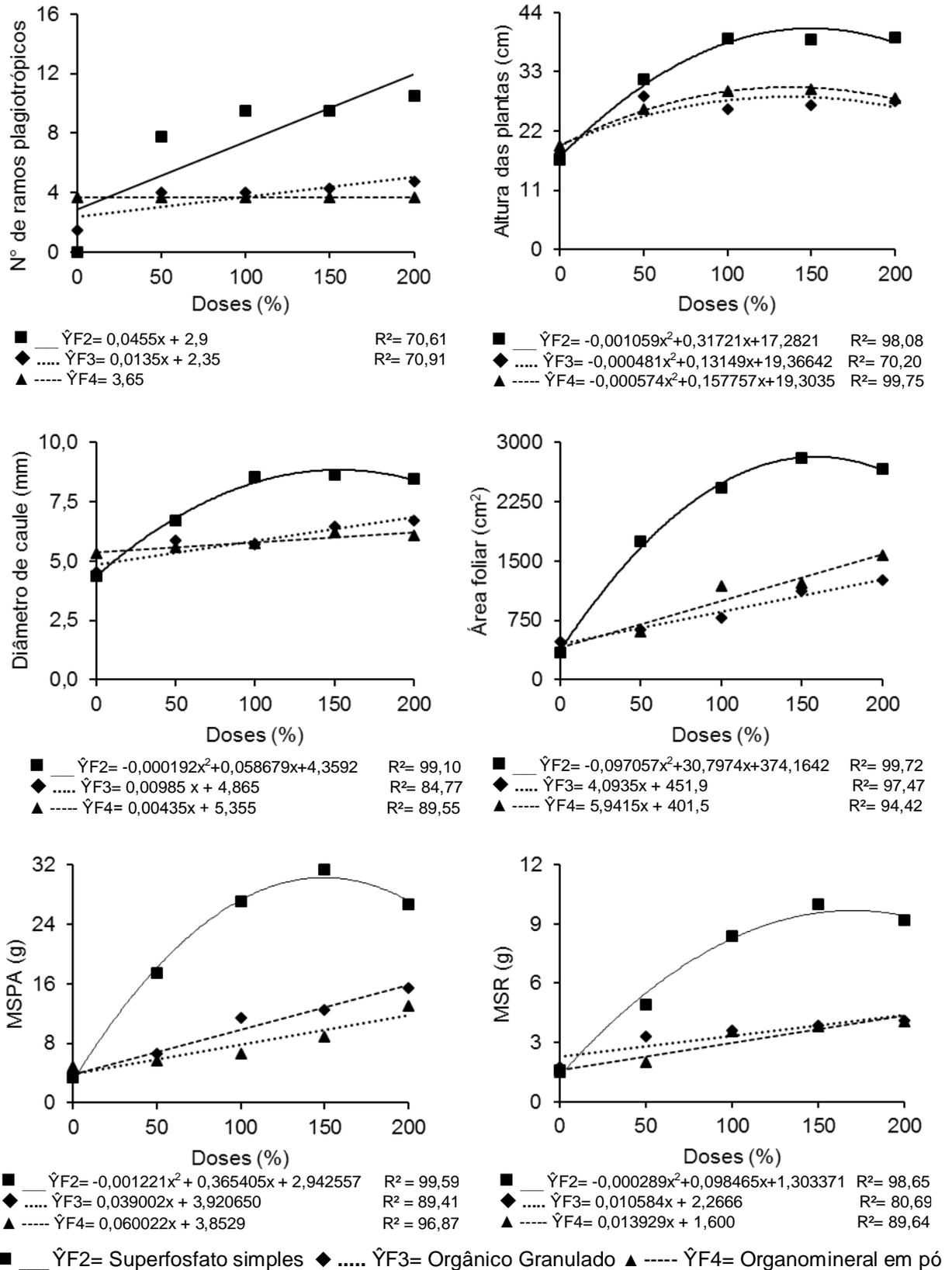


Figura 1 - Número de ramos plagiotrópicos, altura das plantas (cm), diâmetro de caule (mm), área foliar (cm²), matéria seca da parte aérea – MSPA (g) e matéria seca de raiz - MSR (g) das plantas de café arábica (cv Catucaí 785-15) em função das doses de fertilizantes fosfatados.

Silva et al. (2007), avaliando a produtividade de milho em diferentes sistemas produtivos, verificaram que o uso da adubação organomineral por vários anos, provoca aumentos significativos na produção de grãos, sendo esta adubação mais eficiente que a aplicação única de adubação orgânica ou mineral.

Kucey, (1983); Whitelaw et al. (1999) e Souchie et al. (2005) destacam as vantagens para as plantas na associação com microrganismos do solo, onde uma parcela da biomassa microbiana excreta ácidos orgânicos que dissolvem os compostos fosfatados ou promovem a quelatização de cátions que acompanham o ânion fosfato, ocorrendo a liberação do P.

Em função da execução do trabalho ser realizado em vaso, possivelmente houve uma menor colaboração dos microrganismos que facilitariam a aquisição do fósforo por parte dos fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó às plantas, fato que deve ser reconsiderado quando se trabalha em campo, onde a biomassa microbiana tende a ser muito maior.

O fertilizante organomineral em pó possui em sua fórmula a utilização de microrganismos solubilizadores de P, o que era de se esperar um melhor aproveitamento do P desse fertilizante, como o encontrado por Kim et al. (1998) e Young, (1990). Porém esse fato não ocorreu, devido provavelmente à diferença em disponibilizar P entre os diferentes microrganismos com essa capacidade (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999). Zayed; Abdel-Motaal (2005) enfatizam que essa solubilização é lenta, necessitando desta forma suprir com fonte solúvel o início do desenvolvimento da cultura.

Observou que as raízes não se desenvolveram bem na ausência de fósforo, acumulando-se nas faixas onde esse nutriente estava disponível. Segundo Drew (1975), as raízes crescem preferencialmente nas regiões que contêm concentrações altas e favoráveis de nutrientes, com destaque sobre o maior efeito do P no crescimento das raízes.

As relações altura da planta/diâmetro de caule (RAD) também foram menores na dose zero de adubação, quando se aplicou o superfosfato simples (Tabela 3). Os valores de RAD variam entre 3,62 e 5,10, e o maior valor foi obtido para a dose 124,92% da recomendação de adubação (Figura 2). As adubações com os fertilizantes orgânico

granulado e organomineral em pó, não se ajustaram a modelos significativos de resposta.

Tabela 3 - Número de ramos plagiotrópicos, altura das plantas, diâmetro de caule, área foliar, matéria seca da parte aérea, matéria seca de raiz, volume de raiz, relação altura da planta/ diâmetro do caule (RAD), relação da matéria seca da parte aérea/ matéria seca de raiz (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de café arábica (cv Catucaí 785-15) em função dos níveis de fertilizante fosfatados

Variáveis	Fertilizante s*	Nível de Adubação Fosfatada (%)				
		0	50	100	150	200
Nº de ramos plagiotrópicos	F2	0,0 b	7,75 a	9,50 a	9,50 a	10,50 a
	F3	1,50 a	4,00 b	4,00 b	4,25 b	4,75 c
	F4	0,00 b	2,25 c	4,25 b	5,00 b	6,75 b
Altura das plantas (cm)	F2	16,60 a	31,62 a	39,12 a	38,97 a	39,30 a
	F3	17,80 a	28,40 ab	26,12 b	26,72 b	27,47 b
	F4	19,17 a	26,00 b	29,37 b	29,75 b	28,02 b
Diâmetro de caule (mm)	F2	4,37 b	6,70 a	8,55 a	8,62 a	8,47 a
	F3	5,52 ab	5,87 ab	5,70 b	6,45 b	6,70 b
	F4	5,32 a	5,57 b	5,75 b	6,20 b	6,10 b
Área foliar (cm ²)	F2	341,25 a	1755,00 a	2430,00 a	2797,50 a	2666,50 a
	F3	488,75 a	635,50 b	788,50 c	1127,25 b	1266,25 c
	F4	393,00 a	606,00 b	1189,25 b	1217,25 b	1572,75 b
Matéria seca da parte aérea (g)	F2	3,35 a	17,43 a	27,04 a	31,31 a	26,69 a
	F3	4,83 a	5,71 b	6,66 c	8,91 c	12,98 c
	F4	3,40 a	6,56 b	11,38 b	12,49 b	15,44 b
Matéria seca de raiz (g)	F2	1,57 a	4,92 a	8,36 a	9,99 a	9,19 a
	F3	1,75 a	3,28 b	3,61 b	3,88 b	4,10 b
	F4	1,50 a	1,98 c	3,58 b	3,81 b	4,08 b
Volume de raiz (cm ³)	F2	10,75 a	35,75 a	57,75 a	67,00 a	71,75 a
	F3	11,75 a	12,75 b	15,50 b	23,25 b	34,25 b
	F4	7,75 a	12,00 b	18,00 b	22,50 b	31,75 b
RAD	F2	3,80 a	4,72 a	4,59 a	4,53 ab	4,64 a
	F3	3,95 a	4,85 a	4,58 a	4,14 b	4,14 a
	F4	3,62 a	4,64 a	5,10 a	4,86 a	4,63 a
RPAR	F2	2,18 a	3,55 a	3,32 a	3,13 a	2,91 a
	F3	2,76 a	1,86 b	1,88 b	2,43 a	3,15 a
	F4	2,35 a	3,63 a	3,26 a	3,31 a	3,81 a
IQD	F2	0,83 a	2,70 a	4,51 a	5,40 a	4,75 a
	F3	0,98 a	1,36 b	1,61 b	1,96 b	2,32 b
	F4	0,84 a	1,05 b	1,80 b	2,02 b	2,33 b

F2 = Superfosfato simples; F3 = Orgânico granulado; e F4 = Organomineral em pó. Médias seguidas da mesma letra na coluna (entre fertilizantes) não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

O valor da RAD exprime o equilíbrio de crescimento, relacionando essas características morfológicas em apenas um índice, também denominado de vigor, o qual é considerado um dos mais precisos, e fornece informações sobre o quanto delgada está a muda (CARNEIRO, 1995; PEREIRA et al., 2010).

Observou-se que o incremento das doses de superfosfato simples até a dose de 124,92% da recomendação de P aumentou os valores de RAD. Esse aspecto pode estar relacionado ao crescimento vegetativo das plantas de café, com isso boa parte dos carboidratos recém-sintetizados são exportados para atender o crescimento de novos ramos e folhas, em detrimento ao acúmulo no caule (AMARAL, 1991).

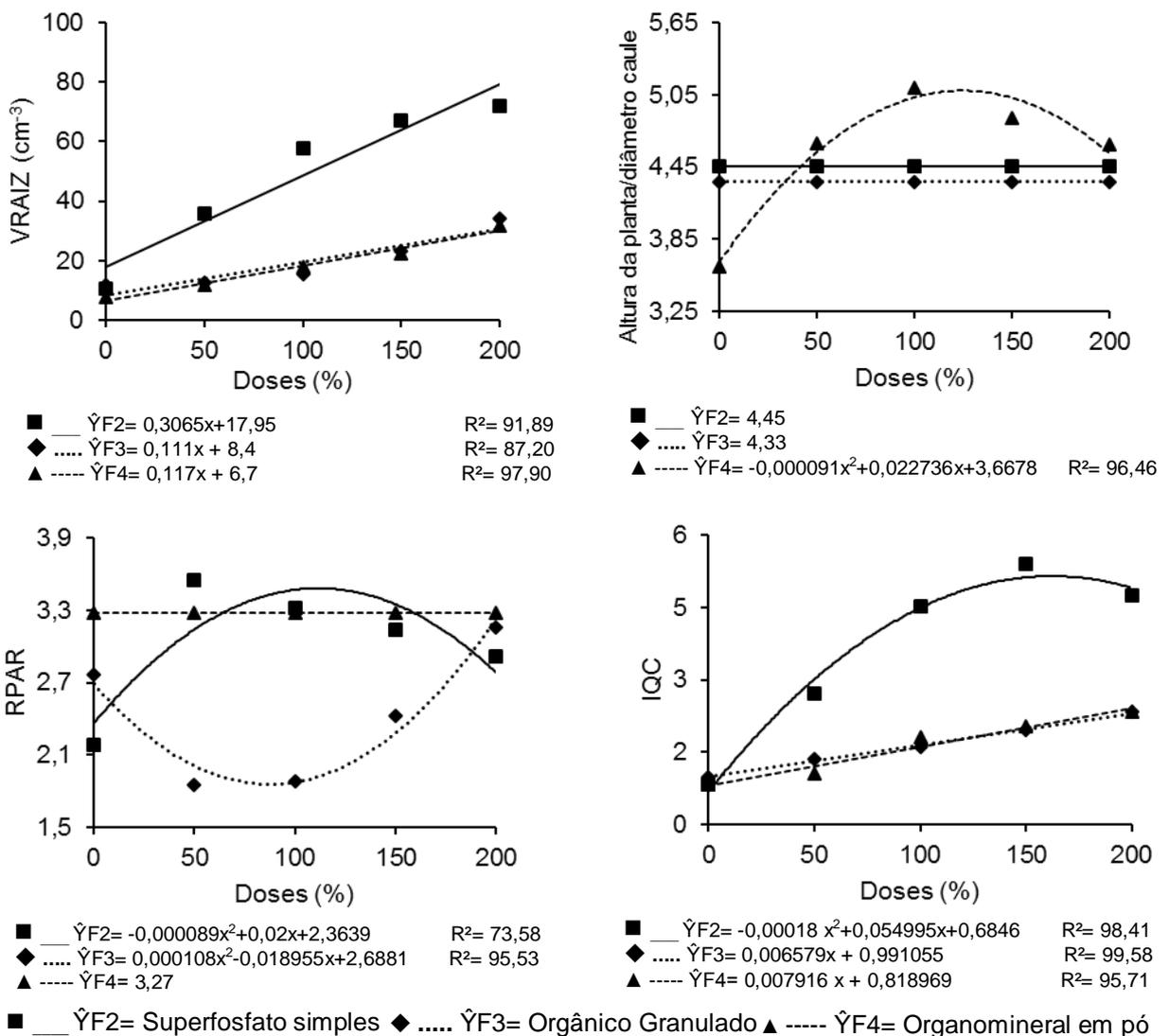


Figura 2 - Volume de raiz (cm³), relação altura da planta/diâmetro do caule, relação da matéria seca da parte aérea/matéria seca de raiz (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de café arábica (cv Catucaí 785-15) em função das doses de fertilizantes fosfatados.

Os valores da relação matéria seca da parte aérea/matéria seca da raiz (RPAR) variam entre 2,18 e 3,55 quando aplicado o superfosfato simples, e de 1,86 a 3,15 no fertilizante orgânico granulado, enquanto que no organomineral em pó a média está em 3,27 (Figura 2). As plantas adubadas com o superfosfato simples apresentam média maior de RPAR quando desenvolvidas na dose de 112,36% enquanto a menor média de RPAR é observada na dose 87,75%, evidenciando que as plantas de café com maior crescimento de raiz foram encontradas no tratamento com fertilizante organomineral em pó.

A ausência de ajuste de um modelo significativo para a RPAR quando aplicado o fertilizante organomineral em pó indica que as mudas apresentaram o mesmo padrão de distribuição de matéria seca entre os dois órgãos, independentemente das doses utilizadas. Por outro lado a maior taxa de RPAR encontrada quando se usou o superfosfato simples, segundo Lavender (1984), pode indicar que as plantas estavam com maior disponibilidade de nutrientes.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) varia entre 0,83 e 5,40 (Figura 2). A menor média de IQD é na ausência de fertilização fosfatada enquanto a maior média pode ser observada na dose de 152,76% da recomendação para o superfosfato simples. Nas demais doses dos fertilizantes, o desempenho das plantas foi intermediário entre esses dois extremos.

Entende-se como qualidade os atributos necessários para que a muda sobreviva e se desenvolva após o plantio Duryea (1985). Hunt (1990) recomendou o IQD como sendo um bom indicador da qualidade da muda, e estabeleceu como padrão o valor mínimo do IQD em 0,20 para mudas produzidas em recipientes de 50 ou 60 ml. Observa-se que as plantas de café atingiram índices muito superiores, indicando que as plantas não devem ter seus índices comparados com o proposto por Hunt, visto que as plantas já estavam formadas e padronizadas no início do experimento, por um processo produtivo diferente do descrito por ele.

Buscou-se com esses índices verificar como estava a qualidade das plantas depois de submetidas aos tratamentos com as doses dos fertilizantes, a fim de melhor elucidar o comportamento das mesmas no estágio em que são levadas para campo,

buscando com isso verificar quais doses e fertilizantes proporciona a melhor qualidade das plantas de café.

Segundo Fonseca et al. (2002), o IQD é um bom indicador da qualidade das mudas, pois no seu cálculo são considerados o vigor e o equilíbrio da distribuição da biomassa na planta, ponderando os resultados de vários parâmetros empregados para a avaliação da qualidade, desde que sejam empregados em mudas desenvolvidas em condições de ambiente semelhantes.

5.4 CONCLUSÕES

A fertilização com superfosfato simples proporciona mudas mais desenvolvidas e com melhor qualidade, quando comparado aos fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó.

Há aumento do índice de qualidade das mudas de cafeeiro quando aplicado o fertilizante superfosfato simples até a dose de 152,76%, e para os fertilizantes orgânico granulado e organomineral em pó há aumento linear até a dose 200% da recomendação de adubação fosfatada.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J. A. T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas interações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio**. 1991, 139 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

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.

BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 115-122, 2001.

CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF/ UENF, 1995. 451 p.

CECATO, U.; SKROBOT, V. D., FAKIR, G. M.; JOBIM, C. C.; BRANCO, A. F.; GALBEIRO, S.; JANEIRO, V. Características morfogênicas do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 36, p. 1699-1706, 2007.

CUNHA, R. L.; SOUZA, C. A. S.; ANDRADE NETO, A.; MELO, B.; CORRÊA, J. F. Avaliação de substratos e tamanhos de recipientes na formação de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2002.

DIAS R; MELO B. Proporção de material orgânico no substrato artificial para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 144-152. 2009.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DREW, M. C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in

barley. **New Phytologist**. v. 75, n. 3, p. 479-490, 1975.

DURYEA, M. L. Evaluating seedling quality importance to reforestation. In: DURYEA, M. L. **Evaluating seedling quality principles, procedures, and predictive abilities of major tests**. Corvallis: Forest Research Laboratory Oregon State University, 1985. p. 1-6.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2002.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. A.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, p. 515-523, 2002.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMAIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 95, p. 1-16, 2001.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings...** Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 218-222.

ISHERWOOD, K. E. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**, IFA / UNEP/ANDA, 60 p. 2000.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. Piracicaba: s.n.t, 1999. 146 p.

KIM, K. Y.; JORDAN, D.; Mc DONALD, G. A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, p. 79-87, 1998.

KUCEY, R. M. N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Albertasoils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 63, p. 671-678, 1983.

LAVENDER, D. P. Plant physiology and nursery environment: interactions affecting seedling growth. In: DURYEA, M. L.; THOMAS, D. L. **Forest nursery manual: production of bareroot seedlings**. Corvallis: Oregon State University, 1984. p. 133-141.

MARCUZZO, K. V.; MELO, B.; CARVALHO, H. P.; TEODORO, R. E. F.; SEVERINO, G. M.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação gradual. **Bioscience Jornal**, Uberlândia - MG, v. 21, n. 1, p. 57-63, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^a ed. Academic. London. 889 p. 1995.

MESQUITA, E. E., PINTO, J. C., FURTINI NETO, A. E., SANTOS, I. P. A.; TAVARES, V. B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-Mombaça, capim Marandu e capim Andropogon em vasos. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 33, p. 290-301, 2004.

MÜLLER, M. L.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo em tubetes. **Revista Unimar**, v. 19, n. 3, p. 777-786, 1997.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Eds.). **Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, DF. p. 189-255, 1991.

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

OBA, C. A. Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; NETO, J. F. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. CETEM. Rio de Janeiro, 2009. 645 p.

PEREIRA, P; C.; MELO, B.; FREITAS, R. S.; TOMAZ, M. A.; TEIXEIRA, I. R. Tamanho de recipientes e tipos de substrato na qualidade de mudas de tamarindeiro. **Revista Verde**, Mossoró - RN, v. 5, n. 3, p. 136-142, 2010.

RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology advances**, v. 17, p. 319-339, 1999

SILVA, R. G.; GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; SILVA, D. G.; ARNHOLD, Emmanuel. Produtividade de milho em diferentes sistemas produtivos. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 2, n. 2, p. 136-141. 2007.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. ELLIOT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society America Journal**, v. 64, p. 681-689, 2000.

SOUCHIE, E. L.; AZCON, R.; BAREA, J. M.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Phosphate solubilization in solid and liquid media by soil bacteria and fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, 2005.

WHITELAW, M. A.; HARDEN, T. J.; HELYAR, K. R. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 655-665, 1999.

YOUNG, C. C. Effects of phosphorus-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 36, n. 2, p. 225-231, 1990.

ZAYED, G.; ABDEL-MOTAAL, H. Bio-active composts from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorous nutrition and microbial community in rhizosphere of cowpea. **Bioresour. Technol.** v. 96, n. 8, p. 929-935, 2005.

APÊNDICES

Apêndice A - Análise de variância do número de brotos (NB), altura das plantas (AT), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF) e matéria seca da parte aérea (MSPA) das mudas de café arábica (CV Catucaí 785-15) em função das doses (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de fósforo) de fertilizantes fosfatados

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		NB	AT	DC	AF	MSPA
Fert	2	95,01*	356,1*	15,52*	7717277,86*	1033,42*
Dose	4	84,55*	428,80*	11,62*	4116832,68*	441,01*
Fert X Dose	8	11,12*	51,61*	2,68*	662096,15*	96,97*
Resíduo	45	0,58	5,01	0,25	19926,87	1,65
Média geral		4,93	7,91	6,33	1284,98	12,94
CV (%)		15,93	28,30	7,86	10,99	9,94

Apêndice B - Análise de variância da matéria seca de raiz (MSR), volume de raiz (VR), relação altura da planta/ diâmetro do caule (HDC), relação da matéria seca da parte aérea/ matéria seca de raiz (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de café arábica (CV Catucaí 785-15) em função das doses (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de fósforo) de fertilizantes fosfatados

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		MSR	VR	HDC	RPAR	IQD
Fert	2	89,36*	5866,86*	0,288 ^{ns}	3,88*	26,96*
Dose	4	40,67*	2392,75*	1,84*	1,18*	1,57*
Fert X Dose	8	8,69*	433,01*	0,26 ^{ns}	1,22*	2,49*
Resíduo	45	0,48	11,36	0,16	0,38	0,08
Média geral		4,37	28,83	4,45	2,90	2,30
CV (%)		15,86	11,69	9,07	21,25	12,87