

# SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO: INFLUÊNCIA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E FONTES DE FÓSFORO<sup>(1)</sup>

Sílvio Júnio Ramos<sup>(2)</sup>, Valdemar Faquin<sup>(3)</sup>, Carlos Ribeiro Rodrigues<sup>(4)</sup>, Carlos Alberto Silva<sup>(5)</sup>, Fabrício William de Ávila<sup>(2)</sup> & Reginaldo Arruda Sampaio<sup>(6)</sup>

### RESUMO

Em lavouras sob plantio direto ou em sistemas integração lavoura-pecuária, é comum o cultivo do feijoeiro em sucessão a gramíneas. Em função do sistema radicular diferenciado e da secreção de compostos orgânicos diversos pelas raízes e pela decomposição da palhada, as gramíneas podem alterar a disponibilidade de P no solo e a aquisição e aproveitamento de fontes de P aparentemente de baixa eficiência agrônômica para as culturas em sucessão. Este trabalho teve por objetivo avaliar a utilização do P e a produção do feijoeiro cultivado em sucessão às gramíneas forrageiras adubadas com diferentes fontes desse nutriente. Para isso, conduziram-se dois experimentos em solos distintos, um em Cambissolo e outro em Latossolo, utilizando-se vasos com 4 dm<sup>3</sup> de solo. O delineamento experimental, para cada solo, foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco tratamentos de cobertura dos solos, representados pelo cultivo prévio de quatro gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens* - braquiária; *Sorghum bicolor* - sorgo; *Brachiaria brizantha* - braquiarião; *Pennisetum glaucum* - milheto) mais o solo sem cultivo prévio e duas fontes de P de diferentes solubilidades (superfosfato triplo - SFT e fosfato reativo de Arad - FRA), com quatro repetições. As gramíneas forrageiras foram colhidas na fase de pré-florescimento, sendo o feijoeiro cultivado em seguida sobre as suas raízes e palhadas. Observou-se, de maneira geral, em ambos os solos adubados com a fonte de P de menor solubilidade (FRA), que a sucessão de culturas proporcionou maiores crescimento, produção, acúmulo de P, utilização do P e aproveitamento do efeito residual do P aplicado no feijoeiro; o mesmo não foi observado para a fonte mais solúvel (SFT). Em ambos os solos, sem o cultivo prévio de gramíneas forrageiras, o SFT foi superior ao FRA para todas as

<sup>(1)</sup> Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, financiado pelo CNPq e FAPEMIG. Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em outubro de 2009.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mails: silviojramos@gmail.com; avilafw@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: vafaquin@dsc.ufla.br

<sup>(4)</sup> Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. Bom Pastor s/n, Boa Vista, CEP 55296-901 Garanhuns (PE). E-mail: carlos\_rrodrigues@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: csilva@dsc.ufla.br

<sup>(6)</sup> Professor Associado do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Av. Universitária 1000, Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros (MG). E-mail: rsampaio@nca.ufmg.br

variáveis avaliadas. Das gramíneas forrageiras estudadas, não se observou efeito definido do seu cultivo prévio sobre as variáveis no feijoeiro cultivado em sucessão.

**Termos de indexação:** plantas de cobertura, sucessão de culturas, adubação fosfatada, solos tropicais.

**SUMMARY:** *PHOSPHORUS ACQUISITION AND YIELD OF COMMON BEAN: INFLUENCE OF FORAGE GRASSES AND PHOSPHORUS SOURCES*

*In no-tillage or in crop-livestock integration systems, it is common the cultivation of common bean in succession to grasses. Due to the root systems morphology, differential secretion of various organic compounds by the roots, and crop residue decomposition, grasses may affect the soil P availability and the acquisition and utilization of P sources, apparently with low agronomic efficiency, for crops in succession. This study was carried out to evaluate the use of P in common bean yield in succession to forage grasses and fertilized with different P sources. Two experiments were carried out using an Inceptisol (Cambisol) and an Oxisol (Latosol), using pots (4 dm<sup>3</sup>) filled with soil. The experiments were arranged in a completely randomized design in a 5 x 2 factorial scheme. The five treatments were represented by four forage types of the previous cultivation (Brachiaria decumbens, Sorghum bicolor, Brachiaria brizantha and Pennisetum glaucum), plus soil without previous cultivation and two P sources (Triple Superphosphate - TSP and Arad Reactive Phosphate - ARP), with four replications. The cover forage plants were harvested just before flowering, and common bean was planted on the remaining straw and roots. Overall, it was observed in both soils fertilized with the lower solubility P source (ARP) that succession crops increased growth, yield and use of the residual effect of P applied to the bean plants. The same was not observed for the soluble source (TSP). In both soils without previous cultivation of forage grasses, the TSP performed better than FRA for all variables. Of these forage grasses, no clear effect of their previous cultivation on the studied variables in common bean cultivated in succession was observed.*

*Index terms:* cover crop, crop succession, phosphated fertilization, tropical soils.

## INTRODUÇÃO

O feijoeiro é uma das principais culturas plantadas nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Grande parte dos solos dessas regiões é de Cerrado, sendo, portanto, muito deficientes em P; devido ao pH ácido e à presença de grandes proporções de óxidos de Fe e Al na fração argila, a fixação de fosfatos e a precipitação são elevadas, o que reduz drasticamente a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas do P aplicado (Novais & Smyth, 1999). Segundo Fageria & Baligar (1996), a deficiência de P é considerada a limitação primária para a produtividade do feijoeiro em regiões tropicais, e estima-se que mais de 50 % do feijoeiro desenvolvido nessas regiões ocorra em solos deficientes em P.

Nas condições de clima e solos do Cerrado, o sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária são práticas bem sucedidas, porém ainda carecem de mais informações sobre espécies para cobertura, as quais devem ter boa produção de biomassa e ser suficientemente persistentes para a adequada proteção física do solo e disponibilização de nutrientes, nos períodos de excesso ou escassez de água, resultando em benefícios para a cultura posterior.

Nesse sentido, a integração entre lavouras anuais e pastagens, além de viabilizar o desenvolvimento de duas atividades, pois promove a rotação de culturas e contribui para a proteção e conservação da água e do solo, é uma alternativa para a recuperação dos solos degradados pela atividade agropecuária (Severino, 2005). Segundo Igue (1984), as gramíneas possuem maior volume de raiz, melhorando a porosidade e agregação do solo, além de representar a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais.

De acordo com Lange et al. (2004), espécies como milheto, braquiária e sorgo forrageiro têm demonstrado importante papel na integração lavoura-pecuária, aumentando a produção de palhada na região do Cerrado. Kluthcouski & Stone (2003) relatam que nessas áreas o feijoeiro apresentou maior produção sobre a palhada de plantas do gênero *Brachiaria*. Da mesma forma, Oliveira et al. (2002) e Nunes et al. (2006) demonstraram que a espécie produtora de palha exerceu grande influência no rendimento de grãos do feijoeiro. Entretanto, Carvalho (2000) e Silva et al. (2004) verificaram que diferentes coberturas vegetais não influenciaram a produtividade do feijoeiro.

Atualmente, a adubação fosfatada em sistema plantio direto é feita totalmente em superfície e com

uso de fontes solúveis, como o superfosfato triplo, superfosfato simples e monoamônio fosfato. Recentemente, têm sido avaliadas fontes reativas, como o fosfato de Arad. Esses fosfatos, além do custo inferior, apresentam no primeiro ano resultados equivalentes aos do superfosfato triplo (Rajan et al., 1996; Sousa & Lobato, 2003) tanto em solos com teores iniciais médios de P (Choudhary et al., 1994) quanto naqueles com teores baixos (Fotyma et al., 1996). Segundo Novais & Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem aumentar a eficiência de utilização do nutriente pelas culturas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do P e a produção do feijoeiro cultivado em sucessão a gramíneas forrageiras adubadas com diferentes fontes de P.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando amostras (0-20 cm) de um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico textura média e um Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa, colocadas em vasos com 4 dm<sup>3</sup>. O primeiro solo foi coletado no município de Nazareno – MG, e o segundo, no campus da UFLA, Lavras – MG; ambos foram coletados sob vegetação natural sem cultivo prévio.

As análises físicas e químicas dos solos, conforme método descrito pela Embrapa (1999), e mineralógicas, de acordo com Giarola (1994) para o Cambissolo e Souza (2005) para o Latossolo, antes do cultivo das gramíneas forrageiras, apresentaram os seguintes resultados, respectivamente: teor de argila: 29 e 70 dag kg<sup>-1</sup>; pH em água: 5,4 e 4,7; matéria orgânica do solo: 2,1 e 4,9 dag kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich-1): 0,6 e 0,9 mg dm<sup>-3</sup>; K: 20 e 20 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 0,7 e 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,2 e 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,7 e 1,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al: 2,3 e 7,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P-rem: 25,2 e 10,2 mg L<sup>-1</sup>; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 23,0 e 171,8 g kg<sup>-1</sup>; e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 155,0 e 319,1 g kg<sup>-1</sup>.

Em ambos os solos, cultivaram-se previamente gramíneas forrageiras como plantas de cobertura, adubadas com fontes de fósforo de diferentes solubilidades; posteriormente, nos mesmos vasos, cultivou-se o feijoeiro sobre as raízes e a palhada das forrageiras. Para os dois solos, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco tratamentos de cobertura dos solos, representados pelo cultivo prévio de quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens* – braquiária, *Brachiaria brizantha* – braquiarião, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* – sorgo forrageiro) mais o solo sem cultivo prévio de forrageiras e duas fontes de P (superfosfato triplo – SFT, com 46,1 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 46,1 % solúvel em

CNA + água; e fosfato reativo de Arad – FRA, com 33,1 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 9,4 % solúvel em ácido cítrico), com quatro repetições. Os solos sem cultivo foram representados pelos dois solos adubados com as duas fontes de P, na mesma época dos tratamentos com as forrageiras, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das gramíneas forrageiras.

Antes do cultivo das gramíneas, com base na análise química dos solos, foi efetuada a calagem, visando elevar a saturação por bases a 50 %, utilizando-se calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35 % de CaO, 14 % de MgO e PRNT de 100 %.

Após incubação dos solos por 20 dias com umidade próxima a 60 % do volume total de poros (VTP), as fontes de P foram incorporadas nas doses de 150 e 250 mg dm<sup>3</sup> de P para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, com base no P total de cada fonte. Pretendeu-se, para as duas fontes, aplicar doses de P menores que as recomendadas por Alvarez V. & Fonseca (1990) para ensaios em vasos, visando avaliar a capacidade das forrageiras de cobertura e do feijoeiro em sucessão no aproveitamento do P aplicado aos solos. Assim, o Latossolo, por ser mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à adsorção específica de P, recebeu dose maior do nutriente. Juntamente com a adubação fosfatada, foi feita uma adubação com 80 mg de N, 80 mg de K, 60 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm<sup>3</sup> de solo, na forma de solução nutritiva, utilizando as seguintes fontes p.a.: NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O e ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, conforme recomendação proposta por Malavolta (1980).

Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira, que foram desbastadas para quatro plântulas uma semana após a emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 400 mg dm<sup>-3</sup> de cada nutriente para a braquiária e braquiarião e 500 mg dm<sup>-3</sup> para o sorgo e milheto, parcelados em sete aplicações. A umidade do solo foi mantida a 60 % do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada, inclusive para os vasos do tratamento sem o cultivo das forrageiras.

As gramíneas forrageiras foram cultivadas até a fase de pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a 2 cm da superfície do solo. Em seguida, foram secas em estufa a 65-70°C até peso constante e picadas em pedaços de 2 a 5 cm, sendo depositadas na superfície dos solos dos vasos correspondentes, na dose de 8 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (Corrêa et al., 2004), correspondendo a 27,7 g/vaso.

Após a deposição da palhada nos vasos, foi efetuada adubação básica na forma de solução nutritiva com 70 mg de N, 50 mg de K, 30 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm<sup>3</sup>, usando as mesmas fontes p.a. citadas para as gramíneas forrageiras.

Posteriormente, foram semeadas seis sementes do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, cv. BRSMG Talismã), conduzindo-se duas plantas até o final do ciclo. Até a fase de florescimento do feijoeiro, foram aplicados em cobertura 230 mg de N, 200 mg de K e 30 mg de S por dm<sup>3</sup>, parcelados em cinco aplicações. Durante todo o ciclo da cultura, a umidade do solo foi mantida a 60 % do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

A colheita das plantas do feijoeiro foi feita no final do ciclo, secando-se o material vegetal em estufa a 65–70 °C, para obtenção da matéria seca da parte aérea (folhas + caule) e dos grãos, na qual foram realizadas análises químicas para o P, de acordo com Malavolta et al. (1997). Relacionando os teores de P com a matéria seca produzida, foi determinado o acúmulo de P total (parte aérea + grãos) do feijoeiro. Uma vez obtidos esses dados, estimaram-se os seguintes índices: eficiência de utilização (EU) = [(g matéria seca total)<sup>2</sup> / (mg de P total acumulado)] (Siddiqi & Glass, 1981); eficiência de aproveitamento do P aplicado (EAPA) = [(mg P total acumulado) / (mg de P aplicado em cada solo – mg de P total acumulado nas gramíneas) x 100] (Chien et al., 1996).

Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de média, com o auxílio do programa estatístico SISVAR® (Ferreira, 2000). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ).

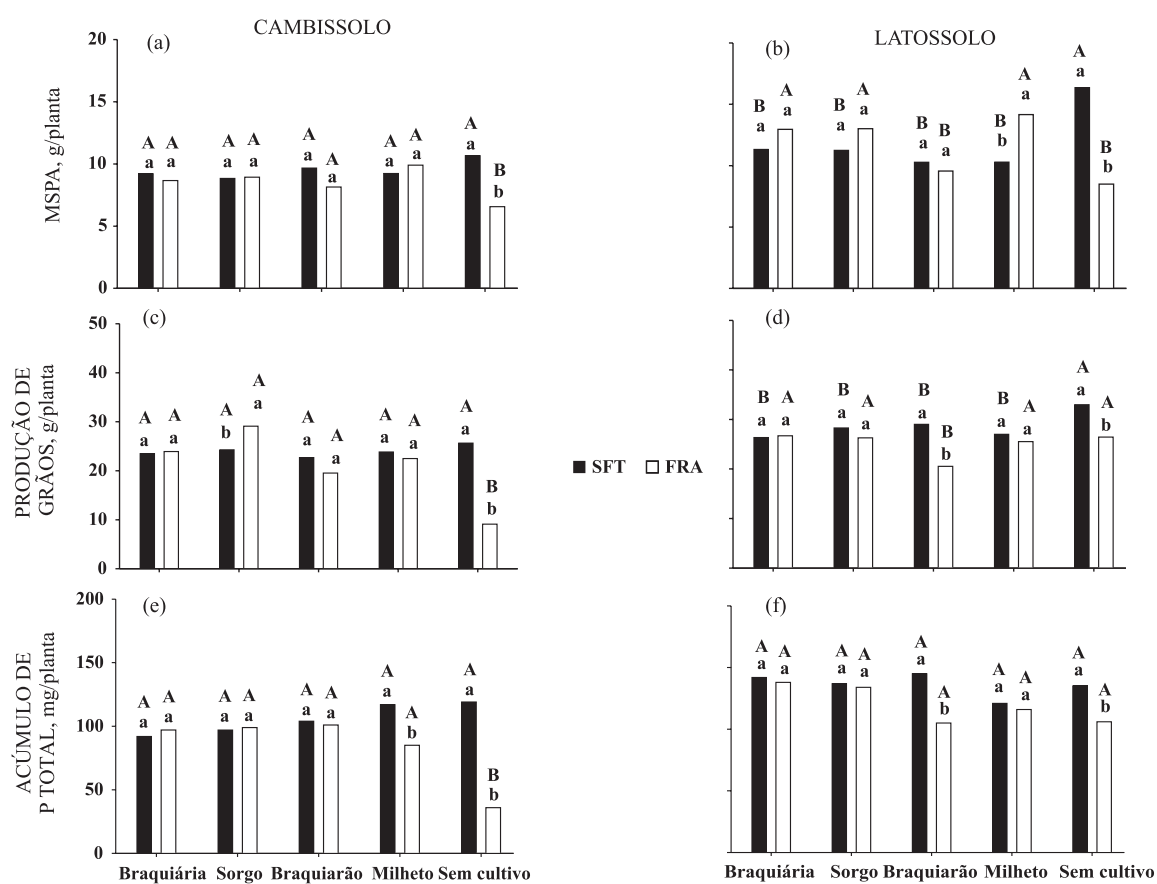
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as fontes de P e o cultivo prévio das gramíneas em relação às variáveis avaliadas no feijoeiro em sucessão (Figuras 1 e 2). De maneira geral, em ambos os solos, não houve influência das fontes de P, nos cultivos prévios de gramíneas forrageiras, sobre a produção de matéria seca e de grãos do feijão (Figura 1a,b,c,d). Entretanto, na ausência de cultivo prévio das gramíneas, para o Latossolo, a aplicação de fonte mais solúvel de P promoveu maior produção de matéria seca e grãos do feijoeiro. Entre as gramíneas, não houve, em geral, diferença entre elas em relação à produção de matéria seca e de grãos do feijão, porém elas aumentaram essa produção quando comparadas às obtidas sem o cultivo prévio das gramíneas forrageiras e com a aplicação de fertilizante fosfatado de menor solubilidade, demonstrando o efeito positivo do uso de plantas de cobertura. Lollato et al. (2002), Oliveira et al. (2002) e Nunes et al. (2006) afirmam que o cultivo prévio de plantas de cobertura como o capim-marmelada, capim-braquiária e *Panicum maximum* proporciona aumento da produtividade do feijoeiro, por elas produzirem quantidade suficiente de matéria seca para conservação de água e nutrientes no solo. Por outro lado, Silva et al. (2006) observaram que o feijoeiro cultivado em sucessão à braquiária e ao milho não é influenciado no tocante à produtividade de grãos.

O comportamento semelhante entre as fontes de P, nos tratamentos com cultivo prévio de gramíneas, pode ser atribuído à produção de ácidos orgânicos no solo pelas gramíneas, os quais contribuíram para maior solubilização do fertilizante menos solúvel. Novais & Smyth (1999) e Pavinato & Rosolem (2008) destacam que a decomposição da matéria orgânica produz ácidos que podem agir na disponibilidade de P no solo. Esse fato fica evidente no maior acúmulo de P total observado no feijoeiro cultivado em sucessão às gramíneas, em comparação ao solo sem cultivo prévio, adubado com FRA (Figura 1e,f). Os ácidos provenientes da decomposição da palhada das gramíneas podem explicar, possivelmente, o aumento de P na planta e a maior produção do feijoeiro, conforme relatado por Lana et al. (2004), ao destacarem que, em alfaca, a adubação com fosfato reativo de Arad resultou em baixa disponibilidade de P na solução, o que refletiu em baixo teor de P na folha e, conseqüentemente, baixa produtividade e diâmetro das plantas, provavelmente devido ao solo estar com acidez corrigida, reduzindo assim a solubilização do P desta fonte. Também, no cultivo de aveia, soja e trigo, em solos com acidez corrigida, Rein et al. (1994) constataram menor eficiência do fosfato de Arad, comparado à do superfosfato triplo, como fonte de P.

Pode-se afirmar, somente para os tratamentos sem cultivo de gramíneas, que o SFT, de forma consistente, apresentou resultados superiores aos do FRA (Figura 1). Isso mostra a importância de se formar palhada com gramíneas para o aumento da eficiência de fosfatos naturais no cultivo do feijoeiro em sucessão a outras culturas. Convém destacar que Korndörfer et al. (1999), trabalhando com fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa, obtiveram resultados similares aos do superfosfato triplo granulado no cultivo do milho em solos de Cerrado. Por sua vez, Richart et al. (2006), antecipando a adubação fosfatada na cultura do milho, em um Latossolo Vermelho eutroférico, verificaram superioridade do superfosfato triplo em relação ao fosfato natural reativo na produção de matéria seca total da soja cultivada em sucessão. No entanto, para a produção de grãos da soja, esses autores não observaram diferença significativa entre as fontes, mostrando que os fosfatos se equivaleram no fornecimento de P para a cultura. Esses resultados são semelhantes aos observados por Horowitz & Meurer (2004) e Sousa & Lobato (2003), os quais relatam que os fosfatos naturais reativos podem ser bastante efetivos em suprir P às culturas, uma vez que se constituem em fonte de liberação controlada de P.

Para evitar a seleção de plantas eficientes na utilização de nutrientes, porém com baixa produção, Siddiqi & Glass (1981) propuseram o cálculo da eficiência de utilização em função da concentração do nutriente na matéria seca e não pela unidade do nutriente acumulado. Nesse sentido, a figura 2a mostra que no Cambissolo, quando adubado com o

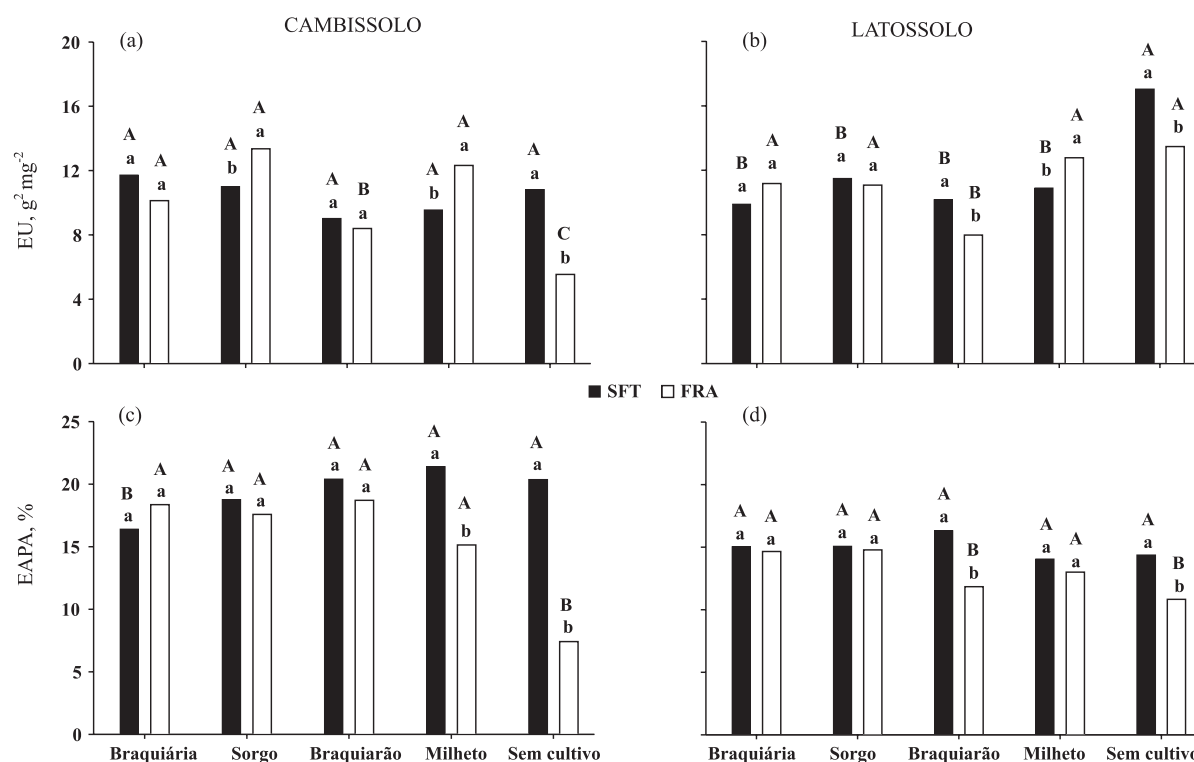


**Figura 1.** Matéria seca da parte aérea (MSPA) (a e b), produção de grãos (PG) (c e d) e acúmulo de P total (e e f) no feijoeiro cultivado em sucessão a gramíneas forrageiras e em solo sem cultivo, adubados com superfosfato triplo (SFT) e fosfato reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott,  $p \leq 0,05$ ).

FRA, o cultivo prévio de todas as gramíneas promoveu maior EU do P pelo feijoeiro dessa fonte, em relação ao tratamento sem cultivo de forrageira – fato não observado para esse solo quando a fonte de P foi o SFT. Já para o Latossolo adubado com o FRA (Figura 2b), não houve diferença na EU do P pelo feijoeiro entre o tratamento com o cultivo prévio de gramíneas e o sem cultivo prévio, à exceção do feijoeiro cultivado em sucessão ao braquiarião, que proporcionou menor utilização. Para a fonte solúvel neste mesmo solo, houve maior EU do P pelo feijoeiro no tratamento sem cultivo prévio das gramíneas forrageiras. Esse mesmo comportamento para ambos os solos foi observado para matéria seca da parte aérea, produção de grãos e acúmulo total de P (Figura 1), mostrando estreita relação entre a EU do P por esse método e o crescimento do feijoeiro. Exceto para os tratamentos sem o cultivo prévio das gramíneas forrageiras, em ambos os solos, e o cultivo prévio do braquiarião no Latossolo, o FRA foi semelhante ou superior ao SFT na EU de P do feijoeiro cultivado em sucessão. De

acordo com Novais & Smyth (1999), os fertilizantes naturais reativos, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem favorecer a maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas.

A eficiência de aproveitamento do P aplicado (EAPA) (Figura 2c,d) representa o percentual do P aplicado aos solos pelas fontes que não foi absorvido pelas gramíneas, e sim pelo feijoeiro, ou seja, o aproveitamento do fósforo residual pela cultura sucessora, da mesma forma para o tratamento sem cultivo. Para ambos os solos, não houve diferença da EAPA pelo feijoeiro entre os tratamentos quando a fonte de P usada foi o SFT, exceto quando cultivado em sucessão a braquiária no Cambissolo (Figura 2c). Conforme relatado por Moura et al. (2001) e Procópio et al. (2005), qualquer diferença no comportamento entre plantas em relação à absorção de P pode ser atribuída à baixa mobilidade desse elemento no solo, de modo que plantas de maior sistema radicular apresentam vantagem na sua captura.



**Figura 2.** Eficiência de utilização (EU) (a e b) e eficiência de aproveitamento do P aplicado (EAPA) (c e d) do feijoeiro cultivado em sucessão a gramíneas forrageiras e em solo sem cultivo, adubados com superfosfato triplo (SFT) e fosfato reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo em cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott,  $p \leq 0,05$ ).

Quanto à fonte menos solúvel, de maneira geral, o cultivo prévio das gramíneas promoveu maior aproveitamento pelo feijoeiro do P residual dessa fonte, quando comparado com o tratamento sem cultivo prévio de forrageiras, sendo esse efeito muito mais acentuado no Cambissolo (Figura 2c). Esses resultados mostram que o cultivo prévio das gramíneas de cobertura proporcionou melhor aproveitamento do P residual pela cultura subsequente quando a fonte usada foi a de menor solubilidade, principalmente no solo mais arenoso e com menor teor de óxido de Fe e Al. Vale ressaltar o possível efeito positivo de ácidos liberados no solo pela palhada das gramíneas, os quais, possivelmente, contribuíram para maior dissolução do FRA e disponibilidade de P para absorção pelo feijoeiro, conforme já comentado.

De maneira geral, independentemente da fonte de P, a eficiência de aproveitamento do P residual (EAPA) pelo feijoeiro alcançou valores próximos de 20 % no Cambissolo e de 15 % no Latossolo. Assim, o Cambissolo com baixo teor de argila e elevado valor de P-remanescente foi o que proporcionou na leguminosa o maior aproveitamento do P aplicado (Figura 2c). Resultados semelhantes foram observados por Novelino (1999) e Bonfim et al. (2003), que obtiveram menor aproveitamento de P com o aumento do poder-

tampão de fosfato do solo. De acordo com Novais & Smyth (1999), os solos das regiões tropicais, geralmente ácidos e com predominância de argilas sesquioxídicas, atuam como forte dreno do P aplicado e reduzem drasticamente a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas. Assim, a facilidade de absorção do P da solução do solo pelas plantas, que está em equilíbrio com a forma lábil, é negativamente relacionada com a energia de ligação de P e com a capacidade-tampão desse elemento no solo. Desse modo, em solo com maior capacidade-tampão houve menor taxa de recuperação do P aplicado.

Nesse contexto, o atendimento da demanda da cultura com um mínimo de fixação de P no solo constituiu-se num aspecto importante para a otimização da fertilização fosfatada, aliado às práticas mais efetivas e eficientes de conservação do solo, o que pode reduzir a preocupação com sua degradação e melhorar o aproveitamento de fósforo dos fertilizantes aplicados.

## CONCLUSÕES

1. Nos dois solos adubados com a fonte de P de menor solubilidade (FRA), a sucessão de culturas

proporcionou maiores crescimento, produção, acúmulo de P, utilização do P e aproveitamento do efeito residual do P aplicado no feijoeiro, comparada à fonte mais solúvel (SFT).

2. Em ambos os solos, sem o cultivo prévio de gramíneas forrageiras, o SFT foi superior ao FRA em todas as variáveis avaliadas.

3. Entre as gramíneas forrageiras estudadas, não se observou efeito definido do seu cultivo prévio sobre as variáveis avaliadas no feijoeiro cultivado em sucessão.

### LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- BONFIM, E.M.S.; FREIRE, F.J.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, T.J.A. & FREIRE, M.B.G.S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. Acta Sci. Agron., 25:323-328, 2003.
- CARVALHO, M.A.C. Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2000. 189p. (Tese de Doutorado).
- CHIEN, S.H.; MENON, R.G. & BILLINGHAM, K.S. Phosphorus availability from phosphate rock enhanced by water-soluble phosphorus. Soil. Sci. Am. J., 60:1173-1177, 1996.
- CHOUDHARY, M.; PECK, T.R.; PAUL, L.E. & BAILEY, L.D. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. Can. J. Plant Sci., 74:303-310, 1994.
- CORRÊA, J.L.; MAUAD, M. & ROSELEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesq. Agropec. Bras., 39:1231-1237, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FAGERIA, N.K. & BALIGAR, V.C. Response of lowland rice and common bean grown in rotation to soil fertility levels on a varzea soil. Fert. Res., 45:13-20, 1996.
- FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para o Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. Anais... São Carlos, UFSCar, 2000. p.255-258.
- FOTYMA, M.; HAMMOND, L. & KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. Fert. Res., 43:83-86, 1996.
- GIAROLA, N.F.B. Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG). Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 226p. (Tese de Mestrado)
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 2004. p.665-688.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p.232-267.
- KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.499-522.
- KORNDÖRFER, G.H.; CABEZAS, W.A.L. & HORO, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. Sci. Agric., 52:391-396, 1999.
- LANA, R.M.Q.; ZANÃO JUNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q. & SILVA, J.C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. Hort. Bras., 22:525-528, 2004.
- LANGE, A.; CABEZAS, W.A.R.L. & TRIVELIN, P.C.O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no Cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages. Anais. Lages, UDESC, 2004. CD-ROM.
- LOLLATO, M.A.; PARRA, M.S. & SHIOGA, P.S. Efeitos de coberturas do solo com capins marmelada e braquiária sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., Viçosa, MG, 2002. Anais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. p.610-611.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agrônômica Ceres, 1980. 215p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; CASALI, V.W.D.; PEREIRA, P.R.G. & CRUZ, C.D. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. Hort. Bras., 19:174-180, 2001.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVELINO, J.O. Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliadas por extratores químicos e crescimento vegetal. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 70p. (Tese de Doutorado)
- NUNES, U.R.; JUNIOR, V.C.A.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O. & FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 41:943-948, 2006.
- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J. & MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 37:1079-1087, 2002.

- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:911-920, 2008.
- PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; PIRES, F.R.; SILVA, A.A. & MENDONÇA, E.S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:911-921, 2005.
- RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H. & SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct applications to soils. *Adv. Agron.*, 57:77-159, 1996.
- REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. Anais. Petrolina, SBCS/EMBRAPA-CPATSA, 1994. p.38-40.
- RICHART, A.; LANA, M.C.; SHULZ, L.R.; BERTONI, J.C. & BRACCINI, A.L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:695-705, 2006.
- SEVERINO, F.J. Supressão da infestação de plantas daninhas pelo sistema de produção de integração lavoura-pecuária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 113p. (Tese de Doutorado)
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, 4:289-302, 1981.
- SILVA, M.G.; ARF, O.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.G.F. & BUZETTI, S. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. *Sci. Agric.*, 61:307-312, 2004.
- SILVA, M.G.; ARF, O.; SÁ, M.E. & BUZETTI, S. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas, sob diferentes preparos do solo. *Acta Sci. Agron.*, 28:433-439, 2006.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. *Inf. Agron.*, 102:1-16, 2003. (Encarte Técnico)
- SOUZA, R.F. Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 141p. (Tese de Doutorado)