

FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO EM SISTEMAS DE MILHO EXCLUSIVO E CONSORCIADO COM FEIJÃO SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL⁽¹⁾

Eduardo da Silva Matos⁽²⁾, Eduardo de Sá Mendonça⁽²⁾, Ecila Mercês de Albuquerque Villani⁽⁴⁾, Luiz Fernando Carvalho Leite⁽⁵⁾ & João Carlos Cardoso Galvão⁽⁶⁾

RESUMO

Os sistemas de manejo do solo modificam a dinâmica do fósforo alterando o conteúdo das diferentes formas de P. Objetivou-se avaliar o efeito de sistemas de cultivo em longo prazo (16 anos de plantio) sobre as diferentes formas de P no solo. Os tratamentos constaram de combinações entre dois sistemas de cultivo: milho exclusivo (M) e milho consorciado com feijão (MF), com duas doses (0 e 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) de adubo orgânico (AO), e três doses (0, 250 e 500 kg ha⁻¹) de N-P-K, 4-14-8 (AM). Solo sob um fragmento de Floresta Atlântica foi utilizado como referência de um estado em equilíbrio. Os valores de P orgânico total (Pot) variaram de 184,2 a 280,2 e de 147,9 a 282,9 mg kg⁻¹, em amostras de solo das camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, sendo os maiores valores observados para combinação 500 kg ha⁻¹ + adubação orgânica, correspondendo, em média, a 26,4 % do P total no solo. Houve tendência da relação C/Pot manter-se constante, entre os tratamentos, constatando-se aumento dos valores de Pot com o aumento do teor de carbono orgânico total no solo. O adubo mineral promoveu incremento do P na biomassa microbiana (Pbm) apenas no sistema de milho exclusivo. Em média, o aumento do Pbm foi de 262 e 164 % para o sistema que recebeu o composto orgânico no sistema de milho exclusivo e consorciado com feijão, respectivamente. Em média, a fração de P orgânico solúvel em meio ácido correspondeu a 90 % do Pot predominando sobre a fração solúvel em base. Nos

⁽¹⁾ Recebido para publicação em agosto de 2004 e aprovado em julho de 2006.

⁽²⁾ Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: eduardosolos@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFV. E-mail: esm@ufv.br

⁽⁴⁾ Pesquisadora da Embrapa Gado de Leite – CNPGL. CEP 36038-330 Juiz de Fora (MG). E-mail: ecilavillani@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Meio-Norte – CPAMN. CEP 64006-220 Teresina (PI). E-mail: luizf@cpamn.embrapa.br

⁽⁶⁾ Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia, UFV. E-mail: jgalvão@ufv.br

tratamentos com 500 kg ha⁻¹ de 4-14-8 e 500 kg ha⁻¹ + composto orgânico, no sistema de consórcio, foram obtidos aumentos nos valores de P total lábil de 53 e 157 %, respectivamente, comparados aos da testemunha. O P orgânico lábil (Pol) correspondeu, em média, a 3,7 % do Pot para os sistemas de cultivo, já para a Floresta Atlântica, esta relação foi de 10,7 %, nas duas profundidades. Os aumentos nos teores das formas mais lábeis de P, proporcionados pela adubação orgânica, evidenciam a importância deste sistema de manejo no favorecimento da ciclagem de P.

Termos de indexação: fósforo orgânico, biomassa microbiana, fósforo lábil.

SUMMARY: SOIL PHOSPHORUS FORMS UNDER SYSTEMS OF SOLE CORN AND CORN-BEAN INTERCROP UNDER ORGANIC AND MINERAL FERTILIZER

Soil management systems affect the P dynamics in content and forms. The aim of this work was to measure the effect of several cultivations systems in the long term (16 years) on the different soil P forms. The treatments consisted of combinations of the two cultivation systems: sole corn (C) and corn-bean intercrop (CB), with two levels (0 and 1) of organic fertilizer (OF), at rates of 0 and 40 m³ ha⁻¹ year⁻¹ and three levels (0, 1, 2) of mineral fertilizer (MF) N-P-K, in the doses 0, 250 and 500 kg ha⁻¹ of the formula 4-14-8. An area under Atlantic Forest was used as reference of a balanced state. The values of total organic P (Pto) changed from 184.2 to 280.2 and from 184.4 to 282.9 mg kg⁻¹ in 0-10 and 10-20 cm deep soil, respectively. The highest values were observed for 500 kg ha⁻¹ of mineral fertilizer + organic fertilizer, corresponding on average to 26.4 % P in the soil. The C/Pto ratio of the treatments tended to be constant. An increase of the Pto values with the increase of the soil organic carbon content was observed. The mineral fertilizer promoted P increment in the microbial biomass (Pmb) in the sole corn crop system. The increase of Pmb was 262 and 164 % of the system that received the organic compost in the sole corn crop and corn-bean intercrop, respectively. On average, the fraction of organic soluble P corresponded to 90 % Pto, prevailing over the basic soluble fraction. The 500 kg ha⁻¹ of mineral fertilizer and 500 kg ha⁻¹ of mineral fertilizer + organic fertilizer treatments in the intercrop system caused increases in the total labile P (Plt) values of 53 and 157 %, respectively, compared to the reference. The labile organic P fraction (Plo) corresponded to 3.7 % of Pto for the cultivation systems; for the Atlantic Forest soil this relationship was 10.7 % at both depths. The increments in the contents of most labile P forms, owing to the organic manure, demonstrate the importance of this management system for an improvement of the P cycle.

Index terms: organic P, microbial biomass, labile P, intercrop.

INTRODUÇÃO

Grande parte dos estudos do fósforo no solo concentra-se na fração inorgânica (Novais & Smyth, 1999); contudo, a fração orgânica de fósforo (Po) constitui uma porção significativa do P total (Pt), variando de 15 a 80 % na maioria dos solos (Stevenson, 1994), podendo contribuir substancialmente para a disponibilidade de P por meio do processo de mineralização. As diferentes formas de Po no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade, daí a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de formas disponíveis de P para as plantas (Machado et al., 1993). Os siste-

mas de manejo do solo modificam a dinâmica do P, e alterações dos conteúdos das diferentes formas de Po têm sido observadas em decorrência de práticas agrícolas, tais como: adubação mineral e adubação orgânica (O'Halloran, 1993; Zhang & Mackenzie, 1997; Damodar Reddy, 2000).

O conteúdo de matéria orgânica é um importante controlador da síntese de Po no solo, e o seu incremento aumenta também a proporção de Po em relação às quantidades totais de P (Harrison, 1987). Em estudo com diferentes classes de solos, Guerra et al. (1996) observaram que, para Argissolos, o Po correlaciona-se positivamente com o C total e P total, embora o aumento das formas orgânicas não acompanhe o rápido incremento do P total no solo

(Selles et al., 1997). De maneira geral, o conteúdo total de Po aumenta, quando o manejo favorece o incremento de carbono e, ou, com a utilização de fertilizantes, e diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de fósforo (Damodar Reddy et al., 2000). Sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003), havendo, portanto, a necessidade de se considerar a matéria orgânica do solo para o melhor entendimento da ciclagem do fósforo (Chapius Lardy et al., 2002).

Outro fator controlador do Po no solo são as concentrações de P em solução e a atividade da biomassa microbiana no solo (Cardoso et al., 2003). As medidas de biomassa microbiana têm sido usadas como indicadores de mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo, bem como na dinâmica de P provocada pelas práticas de manejo (Brookes, 1995; Moore, et al. 2000). Segundo Guerra et al. (1995), o conteúdo de P microbiano mostra-se promissor para estudos do destino e dinâmica do P no solo. Em solos sob pastagem, observou-se que a média anual de fluxo de P por meio da biomassa microbiana chega a 23 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, podendo este fluxo ser reduzido para 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P em solos cultivados (Brookes et al., 1984), evidenciando que as modificações impostas pelos sistemas de manejo podem interferir significativamente na ciclagem de P no solo. Este efeito torna-se mais expressivo em solos tropicais, com baixos teores de P disponível e elevada adsorção deste elemento, nos quais a biomassa microbiana atua como reservatório de P, impedindo que parte do P adicionado ao solo via adubação orgânica e, ou, mineral se transformasse em formas menos disponíveis para a cultura (Villani, 2003). Contudo, existem poucos trabalhos que abordam o efeito do manejo do solo sob as formas de P, principalmente a fração orgânica, em solos tropicais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de cultivo de milho exclusivo e consorciado com feijão, associado à adubação orgânica e mineral, sobre o conteúdo e formas de P no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra-MG (20 ° 45 S e 42 ° 51 W), na Zona da Mata de Minas Gerais, com altitude de 700 m, temperatura e precipitação médias anuais de 19 °C e 1.400 mm, respectivamente (Galvão, 1995).

Inicialmente sob vegetação natural até 1930, a área passou a ser cultivada subseqüentemente, por 53 anos,

com culturas de subsistência, como o milho e o feijão. O experimento foi iniciado em 1984, com a adequação da área, para estabelecer os sistemas de produção. Durante o período do experimento, foram realizadas duas calagens com calcário dolomítico, para correção da acidez do solo. Procedeu-se ao preparo do solo com aração, utilizando arado de disco reversível e uma gradagem com grade de disco convencional.

Utilizou-se, no experimento, um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico fase terraço muito argiloso que apresentou, no início do experimento, na camada de 0–20 cm, pH (H₂O) 5,9; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ de 0,0, 2,6 e 1,7 cmol_c dm⁻³, respectivamente; P e K disponíveis (Mehlich-1) de 11 e 58 mg dm⁻³, respectivamente, e teor de carbono orgânico de 2,3 dag kg⁻¹ (Walkey-Black). Os teores de areia grossa, areia fina, silte e argila foram de 8, 6, 16 e 70 %, respectivamente (Galvão, 1995). Os tratamentos foram formados de combinações entre dois sistemas de cultivo: milho exclusivo (M) e milho consorciado com feijão (MF), com duas doses (0 e 1) de adubo orgânico (AO), 0 e 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e três doses 0, 250 e 500 kg ha⁻¹ do adubo mineral (AM) N–P–K, 4–14–8. Os adubos foram aplicados no plantio, sendo a testemunha representada pela ausência de aplicação de insumos. O adubo orgânico utilizado foi constituído de palhada de soja e feijão junto com esterco bovino e apresentava concentração de P, K, Ca, Mg e N de 0,7, 2,8, 1,0, 0,4 e 3,2 dag kg⁻¹, respectivamente, e relação C/N igual a 5,0. O composto orgânico e o adubo químico foram aplicados no sulco de semeadura e incorporados com enxada. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 2 x 2 x 3 (dois sistemas de cultivo, duas doses de adubos orgânico e três de adubo mineral), com quatro repetições, perfazendo 48 unidades experimentais.

Amostras de solo foram coletadas em abril de 2000, nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm. Escolheu-se uma área sob fragmentos de Floresta Atlântica (FA), adjacente ao experimento, com o mesmo tipo de solo, que foi utilizada como padrão de referência. Nesta área, foi definido um transecto de 100 metros no qual foram efetuadas quatro repetições. Foram comparados os efeitos dos cultivos (exclusivo e consorciado) e da adubação, com as respectivas interações, nas diversas características do solo, tendo sido as duas profundidades de amostragem consideradas isoladamente.

Para a extração seqüencial de fósforo, seguiu-se o método proposto por Bowman (1989), em que o P foi extraído com ácido diluído e álcali. Em seguida, foram dosados, por diferença entre as leituras de P dos extratos digeridos (Pi) e não digerido (Pt) de cada fração, o fósforo orgânico (Po) solúvel em meio ácido (PoH⁺) e o Po solúvel em meio alcalino (PoOH⁻). O teor de P orgânico total (Pot) foi obtido pela soma dos teores de Po solúvel em meio ácido e o Po solúvel em meio alcalino (PoH⁺ + PoOH⁻). E o P total (Pt), pela soma

de PtH^+ e $PtOH^-$. A fração lábil do fósforo (Pl) foi obtida por extração com $NaHCO_3$ 0,5 M (pH = 8,5), conforme Bowman & Cole (1978b), sendo o P total lábil (Ptl) obtido por digestão perclórica. A forma orgânica do P lábil foi obtida por diferença entre o Ptl e Pi lábil, sendo este último quantificado no extrato não digerido. A quantificação do P contido nos extratos foi feita por colorimetria de acordo com Murphy & Riley (1962). O C e P biomassa microbiana (Cbm e Pbm, respectivamente) foram determinados pelo método da irradiação-extração (Islam & Weil, 1998), sendo utilizado o $NaHCO_3$ 0,5 mol L⁻¹ para extração do P e posterior quantificação por colorimetria de acordo com Murphy & Riley (1962). Para a extração do Cbm, utilizou-se o K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹, sendo feita posterior quantificação por oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988). O carbono orgânico total foi determinado por meio da oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, empregando-se testes de F e Tukey a 5 % de probabilidade, com auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de P orgânico total (Pot) e P da biomassa microbiana (Pbm), nas amostras de solo obtidas às profundidades de 0–10 e 10–20 cm, encontram-se no quadro 1. Os valores de P orgânico total (Pot) variaram de 184 a 280 mg kg⁻¹, para a profundidade de 0–10 cm, e de 148 a 283 mg kg⁻¹, para a de 10–20 cm (Quadro 1). Os tratamentos que receberam adubação mineral (500 kg ha⁻¹), juntamente com composto orgânico no sistema de milho exclusivo, apresentaram os maiores valores e corresponderam, em média, a 26,4 % do P total no solo. O sistema exclusivo promoveu aumento médio de 25 e 27 % nos valores de Pot comparado com o sistema consorciado, nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, respectivamente.

Quando se analisou o efeito da adubação orgânica sobre o Pot, não se observou aumento significativo nos valores desta característica. Considerando que o teor Pot varia de acordo com a disponibilidade de Pi e que, à medida que se elevam os níveis de adubação, seja orgânica seja mineral, espera-se aumento nos teores de Pot, pode-se inferir que as quantidades adicionadas de P ao solo, tanto via composto orgânico como via adubo mineral, não estão sendo suficientes para promover incremento significativo de P na forma orgânica. Deve-se considerar também que os sistemas de adubação alteram principalmente a magnitude das frações inorgânicas e que o aumento de P na forma orgânica não acompanha o rápido incremento do Pt (Selles et al., 1997).

O P da biomassa microbiana no solo (Pbm) variou de 1,0 a 7,5 mg kg⁻¹, na profundidade 0–10 cm, e de 0,8 a 7,1 mg kg⁻¹, na de 10–20 cm. Os tratamentos que receberam 500 kg ha⁻¹ do adubo mineral + composto orgânico no sistema de milho exclusivo apresentaram os maiores valores, enquanto os menores foram encontrados para os tratamentos que não receberam nenhuma adubação (orgânica ou mineral). Os sistemas de adubação orgânica e mineral influenciaram positivamente o P da biomassa microbiana. Em média, o aumento do Pbm foi de 262 e 164 %, para o sistema que recebeu o composto orgânico no sistema de milho exclusivo e consorciado com feijão, respectivamente. Já em relação ao sistema de adubação mineral, observou-se incremento do Pbm com o aumento da dose de adubo utilizada, apenas para o sistema de milho exclusivo ($P < 0,05$). Considerando que o conteúdo de P disponível no solo contribui para o aumento dos teores de Pbm (Brookes et al., 1984), pode-se inferir que, no sistema de consórcio milho-feijão, existem outras variáveis, além da disponibilidade de P, que governam a dinâmica do P da biomassa microbiana no solo. Sistemas de manejo que contribuem para o aumento de Pbm são de grande importância, principalmente em solos tropicais, visto que, nesse caso, a biomassa pode atuar como reservatório de P, impedindo que parte do P adicionado ao solo via adubação orgânica e, ou, mineral seja transformada em formas menos disponíveis para as culturas (Villani, 2003).

As médias dos valores das relações entre carbono e fósforo da biomassa microbiana (Cbm/Pbm) e C e P orgânico total (C/Pot) são apresentadas na figura 1. As relações C e P microbianas informam a quantidade de P do solo imobilizado pela população microbiana. Na relação Cbm/Pbm, observou-se, por meio dos menores valores obtidos pela adubação orgânica, que o uso do composto promoveu maior aumento de Pbm comparado com Cbm (Figura 1). Os dados obtidos com adubação mineral e testemunha (ausência de adubação), tanto na profundidade de 0–10 cm como de 10–20 cm, indicam que, com o aumento da dose de adubo mineral, houve redução da relação Cbm/Pbm, concordando com os dados obtidos por Guerra et al. (1995).

Na relação C/Pot, a redução dos valores promovida pelos sistemas de manejo comparada à da floresta atlântica foi de 68,7 e 64,2 %, para 0–10 e 10–20 cm de profundidade, respectivamente. Este efeito deveu-se aos baixos valores de Pot apresentados pela mata (111,2 e 85 mg kg⁻¹, para 0–10 e 10–20 cm, respectivamente), comparados aos dos diferentes sistemas de manejo (Quadro 1), além do maior aporte de carbono promovido pela floresta. Em relação aos sistemas de cultivo, o milho exclusivo apresentou uma relação C/Pot 21,5 % menor que a do sistema de milho consorciado com feijão (Figura 1). De maneira geral, houve tendência da relação C/Pot manter-se constante, sendo constatado

Quadro 1. Teores de P orgânico total (Pot) e P da biomassa microbiana (Pbm) em solo cultivado com milho e milho + feijão, com três doses de NPK e duas doses de adubo orgânico (AO), nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm

Adubo mineral	Adubo orgânico		Média	Adubo orgânico		Média
	0	40 m ³ ha ⁻¹		0	40 m ³ ha ⁻¹	
kg ha ⁻¹ de 4–14–8	————— Pot (mg kg ⁻¹) —————			————— Pbm (mg kg ⁻¹) —————		
Milho	0–10 cm					
0	204 a ⁽¹⁾	269 a	242	1,5 a	3,0 a	2,2
250	239 a	245 a	242	1,3 b	6,6 a	4,0
500	234 a	280 a	257	2,3 b	7,5 a	4,9
Média	241	253	247 A ⁽²⁾	1,7	5,7	3,7 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	*
Milho + Feijão						
0	204 a	198 a	201	1,0 b	5,4 a	3,2
250	187 a	203 a	195	2,5 a	4,7 a	3,6
500	184 a	213 a	199	2,8 b	6,5 a	4,7
Média	192	204	198 B	2,1	5,5	3,8 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Milho	10–20 cm					
0	209 a	253 a	231	0,8 a	3,5 a	2,2
250	242 a	257 a	250	1,2 b	5,9 a	3,5
500	240 a	283 a	262	2,7 b	7,1 a	4,9
Média	230	264	247 A	1,6	5,5	3,5 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	*
Milho + Feijão						
0	184 a	201 a	193	1,0 b	6,7 a	3,9
250	210 a	206 a	208	2,5 b	6,7 a	4,6
500	148 b	217 a	182	2,8 a	5,9 a	4,4
Média	181	208	194 B	2,1	6,4	4,3 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5 % pelo teste F.

⁽¹⁾ Letras minúsculas comparam doses de adubação orgânica. ⁽²⁾ Letras maiúsculas, sistemas de cultivo. ns = não-significativo; * = significativo a 5 % pelo teste F.

aumento dos valores de Pot com o aumento do teor de carbono orgânico total no solo.

Os valores médios das frações de Po solúvel em meio básico (Po (OH⁻)) e solúvel em meio ácido (Po (H⁺)) são apresentados na figura 2. A fração de P orgânico solúvel em meio ácido correspondeu a 90 % do Pot predominando sobre a fração solúvel em base (Figura 2). Os dados aqui apresentados concordam com os obtidos por Duda (2000), que observou predomínio da forma de Po solúvel em ácido para diferentes classes de solos avaliadas, incluindo Argissolos. A fração de Po solúvel em meio ácido representa a fração de Po moderadamente lábil e está associada a substâncias não-húmicas e aos ácidos fúlvicos (Bowman & Cole, 1978a). A acessibilidade deste compartimento pelos microrganismos e plantas pode ser mais fácil do que ao P associado aos ácidos

húmicos, visto que este último deve apresentar maior resistência à mineralização (Duda, 2000).

Os valores de P total lábil (Ptl) e P orgânico lábil (Pol), nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, são apresentados no quadro 2. O P total lábil variou de acordo com a adubação, orgânica e mineral (P<0,01), sendo os maiores valores observados nos tratamentos que receberam adubação orgânica + adubação mineral (Quadros 2), concordando com os resultados obtidos por Brookes et al. (1984), que observaram aumento dos teores de Ptl com a utilização de adubo mineral e orgânico. Comparando os valores obtidos no tratamento sem adubação (12,6 mg kg⁻¹ de P) com os referentes à utilização de 500 kg do adubo mineral (19,2 mg kg⁻¹ de P) e 500kg do adubo mineral + composto orgânico (32,4 mg kg⁻¹ de P) no sistema de consórcio, na profundidade de

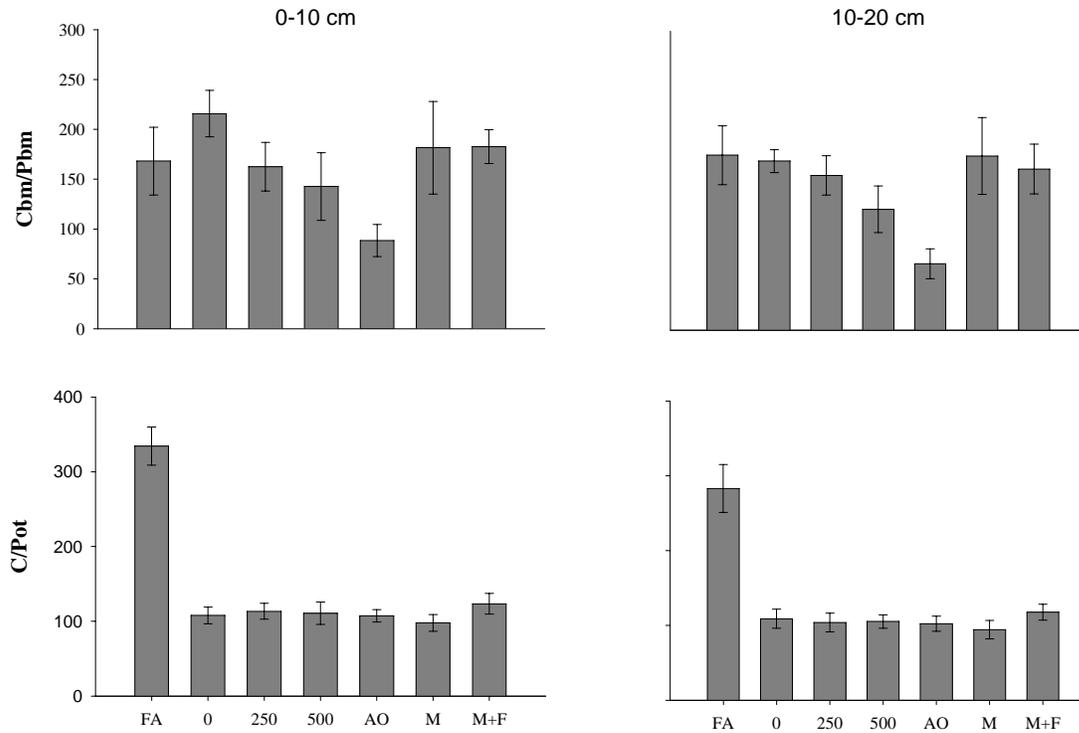


Figura 1. Médias dos valores das relações entre carbono e fósforo da biomassa microbiana (Cbm/Pbm); e carbono e fósforo orgânico total (C/Pot), nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm. FA: Floresta Atlântica; 0: ausência de adubo orgânico e mineral; 250 e 500: 250 e 500 kg ha⁻¹ de 4–14–8, respectivamente; AO: 40 m³ ha⁻¹ adubo orgânico; M: milho M + F: milho + feijão. Barras inseridas nas colunas representam o erro-padrão em relação à média (n = 4).

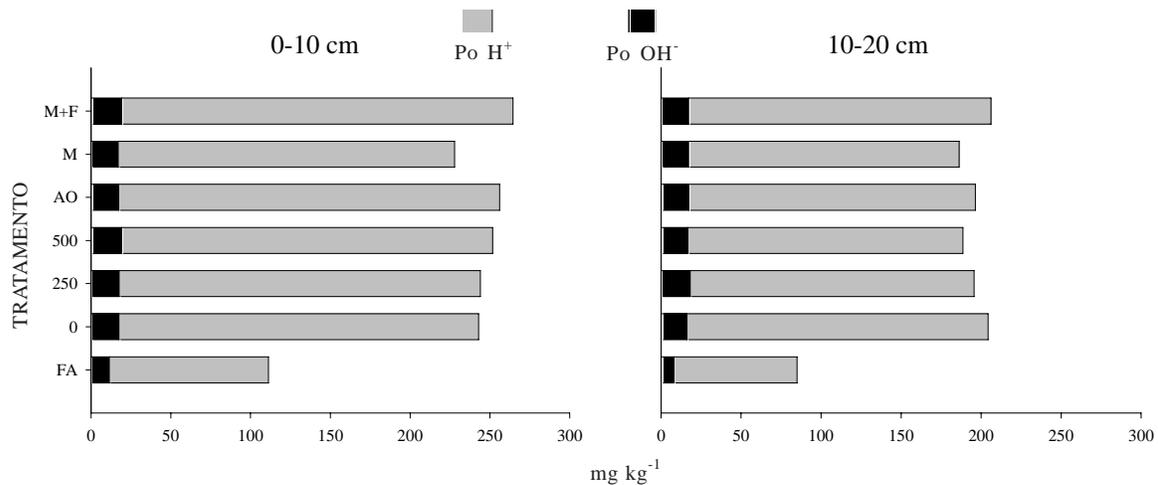


Figura 2. Médias dos valores das frações de Po solúvel em meio básico (Po (OH⁻)) e solúvel em meio ácido (Po (H⁺)), nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm. FA: Floresta Atlântica; 0: ausência de adubo orgânico e mineral; 250 e 500: 250 e 500 kg ha⁻¹ de 4–14–8, respectivamente; AO: 40 m³ ha⁻¹ adubo orgânico; M: milho; M + F: milho + feijão

0–10 cm (Quadro 2), observou-se acréscimo nos valores de Ptl correspondente a, respectivamente, 53 e 157 %. Com relação à utilização do adubo mineral, este promoveu efeito linear ($P < 0,01$) sobre os teores de Ptl, fazendo com que os valores de Ptl aumentassem

com o aumento da dose de adubo utilizado. Isso porque o P lábil está diretamente relacionado com o incremento de P, principalmente na forma disponível, proporcionado pela utilização do adubo mineral (Zhang & MacKenzie, 1997).

O P orgânico lábil (Pol) correspondeu, em média, a 3,7 % do Pot para os sistemas de cultivo, já para a mata nativa esta relação foi de 10,7 % nas duas profundidades. Nos sistemas de manejo que não receberam nenhum tipo de adubação, houve predomínio da fração Pol em relação ao P inorgânico lábil, tendo, no sistema consorciado, a fração orgânica de P lábil correspondido a 71 % do P total lábil (Ptl) e, no sistema exclusivo, a 67 % do Ptl.

Verificou-se que, tanto para o sistema exclusivo quanto para o sistema consorciado, a adubação orgânica contribuiu para que ocorresse aumento de P inorgânico, fazendo com que os percentuais de Pol diminuíssem em relação ao Ptl. Quando somente o composto orgânico foi adicionado, o Pol correspondeu

a apenas 35 % do Ptl para ambos os sistemas. Ao contrário do que foi observado por Guerra et al. (1996) em Argissolos, o Pol não se correlacionou com o P disponível, indicando que as modificações impostas pelos sistemas de cultivo e adubação orgânica e mineral alteram o equilíbrio entre Pi e Po pela adição de P ao sistema.

CONCLUSÕES

1. O sistema de milho exclusivo favoreceu o incremento de Pot no solo, comparado ao sistema de consórcio milho-feijão.

Quadro 2. Valores de P total lábil (Ptl) e P orgânico lábil (Pol) em solo cultivado com milho e milho + feijão, com três doses de NPK e duas doses de adubo orgânico (AO), nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm

Adubo mineral	Adubo orgânico		Média	Adubo orgânico		Média
	0	40 m ³ ha ⁻¹		0	40 m ³ ha ⁻¹	
kg ha ⁻¹ de 4–14–8	Ptl (mg kg ⁻¹)			Pol (mg kg ⁻¹)		
Milho	0–10 cm					
0	11,9 b ⁽¹⁾	19,5 a	15,7	7,9 a	6,8 a	7,4
250	14,1 b	25,7 a	19,9	8,8 a	7,3 a	8,1
500	15,5 b	32,9 a	24,2	7,8 a	8,4 a	8,1
Média	13,9	26,0	19,9 A ⁽²⁾	8,2	7,5	7,9 A
Efeito linear			**			ns
Milho + Feijão						
0	12,6 b	21,4 a	17,0	8,9 a	7,5 a	8,2
250	14,9 b	22,3 a	18,6	8,3 a	6,6 a	7,5
500	19,2 b	32,4 a	25,8	9,3 a	9,4 a	9,3
Média	15,6	25,4	20,5 A	8,9	7,8	8,3 A
Efeito linear			**			ns
Milho	10–20 cm					
0	11,8 b	19,6 a	15,7	6,9 a	8,0 a	7,5
250	13,3 b	26,9 a	20,1	6,8 a	8,2 a	7,5
500	14,7 b	34,1 a	24,4	6,6 a	7,1 a	6,9
Média	13,2	26,9	20,1 A	6,8	7,8	7,3 A
Efeito linear			**			ns
Milho + Feijão						
0	12,5 b	20,9 a	16,7	7,1 b	9,6 a	8,4
250	14,8 b	23,9 a	19,4	8,9 a	7,5 a	8,2
500	18,7 b	33,8 a	26,3	8,1 a	8,5 a	8,3
Média	15,3	26,2	20,8 A	8,1	8,6	8,3 A
Efeito linear			**			ns

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5 % pelo teste F.

⁽¹⁾ Letras minúsculas comparam doses de adubação orgânica. ⁽²⁾ Letras maiúsculas, sistemas de cultivo. ns = não significativo; * = significativo a 5 % pelo teste F.

2. A adubação orgânica acarretou aumento nas formas mais lábeis de fósforo, P_{bm} e P_{tl}, favorecendo a sua disponibilização para as plantas.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. José Braz Júlio pela colaboração no desenvolvimento das análises, e ao CNPq, pela disponibilização de recursos para a bolsa de pesquisa.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. R. Bras. Ci. Solo, 27:1003-1011, 2003.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:362-366, 1989.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. Soil Sci., 125:95-101, 1978a.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. Soil Sci., 125:49-54, 1978b.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fertil. Soils, 19:269-279, 1995.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 16:169-175, 1984.
- CARDOSO, I.M.; van der MEER, P.; OENEMA, O.; JANSEN, B.H. & KUYPER, T.W. Analysis of phosphorus by ³¹P-NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. Geoderma, 112:51-70, 2003.
- CHAPIUS LARDY, L.; BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M.L. & LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. Agric. Ecosyst. Environ., 92:147-158, 2002.
- DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A. & RUPA, T.R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. Biores. Technol., 75:113-118, 2000.
- DUDA, G.P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 158p. (Tese de Doutorado)
- FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - FUNARBE. SAEG-Sistema para análises estatísticas. v. 5.0. Viçosa-MG, 1993.
- GALVÃO, J.C.C. Características físicas e químicas do solo e produção de milho exclusivo e consorciado com feijão em função de adubações orgânica e mineral contínuas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 194p. (Tese de Doutorado)
- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. Pesq. Agropec. Bras., 31:291-299, 1996.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens*. Pesq. Agropec. Bras., 30:543-551, 1995.
- HARRISON, A.F. Soil organic phosphorus. Wallingford, CAB International, 1987. 257p.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. Biol. Fertil. Soils, 27:408-416, 1998.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L. & VIANA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 17:331-336, 1993.
- MOORE, J.M.; KLOSE, S. & TABATABAI, M.A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. Biol. Fertil. Soils, 31:200-210, 2000.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- O'HALLORAN, I.P. Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus. Can. J. Soil Sci., 73:359-369, 1993.
- SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P. & FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian Oxisol under different tillage systems. Soil Till. Res., 44:23-34, 1997.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- VILLANI, E.M.A. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana: métodos de avaliação e influência da adubação fosfatada em plantações de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 56p. (Tese de Doutorado)
- ZHANG, T.Q. & MACKENZIE, A.F. Changes of soil phosphorus fractions under long-term corn monoculture. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:485-493, 1997.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.