

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

FÓSFORO DA BIOMASSA MICROBIANA EM SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

D. S. RHEINHEIMER⁽²⁾, I. ANGHINONI⁽³⁾ & E. CONTE⁽⁴⁾

RESUMO

A biomassa microbiana assume papel importante na reciclagem do fósforo em solos tropicais e subtropicais. Este trabalho teve por objetivo quantificar o teor de fósforo armazenado na biomassa microbiana em solos submetidos a diferentes métodos de preparo e sucessões de culturas. Para tal, foram utilizados quatro experimentos, instalados em diferentes locais no Rio Grande do Sul a partir de 1979, envolvendo métodos de preparo do solo e sucessões de culturas. Em 1997, coletaram-se amostras de solos nos sistemas plantio direto e cultivo convencional, com várias sucessões de culturas, em três camadas de solo. O fósforo acumulado na biomassa microbiana foi determinado por fumigação-extração. O fósforo na biomassa não diferiu entre os métodos de preparo do solo no Latossolo Vermelho Distroférico típico, mas foi maior no sistema plantio direto em comparação ao cultivo convencional no Latossolo Vermelho Distroférico típico e Argissolo Vermelho Distroférico típico. O cultivo de diferentes plantas anuais não afetou os teores de fósforo microbiano. O fluxo anual de P através da biomassa microbiana variou de 8 a 22 mg dm⁻³ ano⁻¹ e, no Argissolo Vermelho Distroférico típico, foi maior no sistema plantio direto do que no cultivo convencional.

Termos de indexação: manejo do solo, fósforo na biomassa, reciclagem de fósforo.

⁽¹⁾ Trabalho realizado com apoio financeiro do PRONEX-FINEP e FAPERGS. Recebido para publicação em abril de 1999 e aprovado em junho de 2000.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Caixa Postal 221, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: danilo@ccr.ufsm.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Engenheira-Agrônoma, Pós-graduanda em Ciência do Solo na UFRGS.

SUMMARY: *PHOSPHORUS IN THE MICROBIAL BIOMASS IN SOILS UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS*

Microbial biomass plays an important role in phosphorus cycling in tropical and subtropical soils. The purpose of this research is to quantify the content of phosphorus stored in the microbial biomass in soils under different tillage and cropping systems. Four long term experiments were then used, involving no-tillage and conventional tillage and different crop rotations, installed in different soils (Heavy clay Rhodic Hapludox, Clay Rhodic Hapludox and fine-loamy Rhodic Paleudult) in the state of Rio Grande do Sul - Brazil. In 1997, soil samples were collected in both soil tillage systems and different cropping systems in three soil layers. The content of phosphorus stored in the biomass was determined by the fumigation-extraction method. The use of the no-tillage system did not affect the biomass phosphorus content in the Heavy clay Rhodic Hapludox soil, but increased in the Clay Rhodic Hapludox and fine-loamy Rhodic Paleudult soils, as compared to the conventional tillage. Cropping of different annual plants did not affect the microbial phosphorus content. The flux of P through the microbial biomass ranged from 8 to 22 mg dm⁻³ year⁻¹, and was higher in the no-tillage than in the conventional tillage in the Rhodic Paleudult.

Index terms: soil management, biomass phosphorus, phosphorus cycling.

INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo é uma fonte importante de nutrientes e sua flutuação em tamanho e atividade pode influenciar a produtividade das plantas cultivadas. A matéria orgânica adicionada ao solo fornece energia, carbono e elétrons à população microbiana, a qual induz modificações na dinâmica dos nutrientes, entre eles a do fósforo (Stewart & Tiessen, 1987; Hands et al., 1995; Magid et al., 1996). O fósforo contido na biomassa microbiana é biologicamente disponível, especialmente na rizosfera, onde aproximadamente 40% das espécies de microrganismos apresentam fosfatases capazes de hidrolisá-lo. A atividade das fosfatases ácidas e alcalinas é maior no solo submetido ao sistema plantio direto (SPD) do que sob cultivo convencional (SCC) (Doran, 1980).

Em sistemas naturais, pela ruptura das células microbianas, todos os compostos são liberados para a solução e podem reagir com os colóides do solo, formando uma variedade de compostos com diferente labilidade ou suscetibilidade à mineralização (Stewart & Tiessen, 1987). O Pi contido nas células microbianas e oriundo da hidrólise enzimática do Po é liberado na solução do solo, o qual poderá ser absorvido pelas plantas (Buchanan & King, 1992) ou adsorvido pelo solo. Em solos drenos, a competição exercida pelos colóides inorgânicos é muito grande, enquanto a disponibilidade de fósforo é controlada pela reciclagem lenta do fósforo contido nos organismos vivos (Novais & Smyth, 1999). Isso leva à hipótese de que, em preparos de solos mais conservacionistas, que resultem em aumentos nos teores de Po, esse pode ser importante fonte de fósforo às plantas.

Também, quanto maior a disponibilidade de fósforo no solo maior será a quantidade de Po na biomassa microbiana (Guerra, 1993). Isto confere proteção às reações de adsorção e, ou, precipitação em oxiidróxidos e formas livres de ferro e alumínio.

A adoção do SPD aumenta a biomassa microbiana, graças à adição de exsudatos radiculares, decomposição das raízes e deposição de resíduos de plantas na superfície do solo, além das menores flutuações de temperatura e de umidade do solo (Cattelan, 1989; Saffigna et al., 1989; Vargas, 1997; Salinas-Garcia et al., 1997). Nestas situações, o Pi é parcialmente transformado em Po na biomassa microbiana (Saffigna et al., 1989; Selles et al., 1997), o que contribui para a maior disponibilidade de fósforo na camada superficial desse sistema.

Nos solos onde há introdução de plantas de cobertura, em especial aquelas com alta produção de resíduos, sem o posterior revolvimento, a disponibilidade de nutrientes está mais ligada ao ciclo do carbono. A liberação de nutrientes dos resíduos vegetais é dependente da qualidade do material orgânico, da natureza da comunidade decompositora e das condições ambientais.

A suscetibilidade do material orgânico à decomposição está ligada aos teores de lignina e polifenóis e às relações entre os seus constituintes, como C/N, C/P, lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N (Palm & Sanchez, 1991). Resíduos vegetais que contenham baixas concentrações de N e P e alto conteúdo de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e liberação lenta de nutriente (Myers et al., 1994). A taxa de decomposição do Po depende, inicialmente, da solubilidade do P no resíduo e, posteriormente, do crescimento dos decompositores. O P solúvel (Pi

e monoésteres) é rapidamente liberado para a solução do solo, enquanto o P não-solúvel em água (diésteres, fosfonatos e polifosfatos) permanece no resíduo e é liberado pela mineralização do esqueleto carbônico e, ou, mineralização bioquímica (McGill & Cole, 1981; Thian et al., 1992; Frossard et al., 1995).

Assim, a liberação de P nos estádios iniciais da decomposição é devida a ruptura da célula e a saída do P solúvel e, posteriormente, ocorrerá mineralização microbiana líquida, que só se dá em substratos com relação C/P de 30-50, em especial, da própria população microbiana, cuja relação C/P varia de 12-45 (Brookes et al., 1984), e não com relações elevadas, 100-300, como mencionadas por White & Ayoub (1983).

Este trabalho teve por objetivo quantificar o teor de fósforo armazenado na biomassa microbiana em diferentes tipos de solos, métodos de preparo do solo e sucessões de culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Usaram-se amostras de solos de quatro experimentos de diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul (Quadro 1).

Quadro 1. Valor de pH em água e teores de fósforo disponível, argila total e ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato da camada de 0-2,5 cm de diferentes solos, métodos de preparo e sucessões de culturas

Solo	Sistema	pH	P ⁽⁴⁾	Argila	Fed ⁽⁵⁾
			mg dm ⁻³	— g dm ⁻³ —	
LVdf ⁽¹⁾	SPD ⁽²⁾	6,2	95		
	SCC	5,7	52	680	246
LVd	SPD	5,9	141		
	SCC	5,7	38	530	56
PVd	SPD	6,2	146		
	SCC	5,6	81	220	36
PVd	A/M ⁽³⁾	5,1	161		
SPD	A+V/M+C	5,3	122		
	G+M	5,5	78		

⁽¹⁾ LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico típico muito argiloso; LVd = Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso; PVd = Argissolo Vermelho Distrófico típico franco-arenoso-argiloso. ⁽²⁾ SPD = sistema plantio direto; SCC = sistema de cultivo convencional. ⁽³⁾ A/M = aveia/milho; A + V/M + C = aveia + vica/milho + caupi; G + M = guandu + milho. ⁽⁴⁾ Fósforo extraído por Mehlich-1. ⁽⁵⁾ Fed = Ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato.

O primeiro experimento foi instalado em 1979, em Latossolo Vermelho Distroférico típico muito argiloso (LVdf - Rhodic Hapludox), no Centro de Atividades Agrícolas e Florestais da Cooperativa Triticola de Santo Ângelo, em Santo Ângelo (RS). Dentre os diversos tratamentos, coletaram-se amostras de solo de duas sucessões de culturas (trigo/soja e aveia/milho) e de uma rotação de cultura (trigo, soja, tremoço, milho, colza, sorgo e aveia preta + trevo) no SPD e das mesmas duas sucessões de culturas no SCC. Os métodos de preparo do solo estão na parcela principal e as sucessões e a rotação de cultura, na subparcela. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições.

O segundo experimento foi instalado em 1983, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (LVd - Rhodic Hapludox), no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - EMBRAPA, em Passo Fundo (RS). Dentre os diversos tratamentos, coletaram-se amostras de solo sob dois métodos de preparo do solo (SPD e SCC - parcela principal) com duas culturas precedentes (sorgo e soja subparcela). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições.

O terceiro experimento foi instalado em 1983, em Argissolo Vermelho Distrófico típico franco-arenoso argiloso (PVd - Rhodic Paleudult), na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul (RS). Dentre os diversos tratamentos, coletaram-se amostras de solo sob o SPD com três sucessões de culturas (aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho + caupi e guandu + milho). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições.

O quarto experimento foi instalado em 1985, em área adjacente ao experimento descrito anteriormente Argissolo Vermelho Distrófico típico franco-arenoso argiloso - Rhodic Paleudult). Dentre os diversos tratamentos, coletaram-se amostras de solo sob dois métodos de preparo do solo (SPD e SCC - parcela principal) com duas sucessões de culturas (aveia/milho e aveia + ervilhaca/milho + caupi - subparcela). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições.

No primeiro, terceiro e quarto experimentos, adicionaram-se, em todos os cultivos, fertilizantes com apenas P e K, com base nas análises de solo, seguindo as recomendações da Comissão (1995), que eram diferenciadas de acordo com o solo e a cultura. No segundo, também se adicionou nitrogênio, conforme as recomendações da Comissão (1995). As quantidades de fósforo aplicadas ao longo do tempo foram, em média, de 22, 26 e 22 kg ha⁻¹, para cada cultivo de soja, milho e trigo, respectivamente, no primeiro experimento; de 17,5 kg ha⁻¹, para cada cultura implantada no segundo experimento, e de 20 kg ha⁻¹, aplicados no cultivo do milho, no terceiro e no quarto experimentos.

Em maio de 1997, logo após o preparo do solo, coletaram-se amostras de solo nos quatro experimentos, nas camadas de 0-2,5, 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm. Cada amostra foi composta pela homogeneização de duas subamostras por unidade experimental, oriundas de trincheiras de 50 x 10 cm, coletadas perpendicularmente às linhas de semeadura. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório em caixas de isopor sem gelo. O solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 1 mm, para retirada de fragmentos de resíduos de plantas, e armazenado em temperatura ambiente.

Antecedendo as análises químicas do solo, uma subamostra de aproximadamente duzentos gramas de solo seco foi umedecida a 80% da capacidade de campo e acondicionada em potes, por 90 dias, com temperatura controlada entre 20 e 25°C. Repôs-se a água perdida a cada dois dias, com revolvimento do solo. Essa incubação objetivou restabelecer o equilíbrio biológico do solo, por ter sido ele seco ao ar e armazenado por seis meses. Para as análises químicas, o solo úmido foi peneirado em malha de 2 mm.

O fósforo orgânico total foi determinado pelo método de ignição (Olsen & Sommer, 1982). O carbono orgânico total foi determinado por digestão úmida e a densidade aparente pelo método do anel volumétrico. Para determinar o teor de fósforo na biomassa microbiana, adaptou-se o método proposto por Hedley & Stewart (1982), o qual prevê a extração do Pi disponível com resina antes do processo de fumação e extração com NaHCO_3 (Brookes et al., 1982) e o ajuste da capacidade de adsorção do solo (Morel et al., 1996). Para tal, três conjuntos de amostras (*a*, *b*, *c*) com 1,5 g de solo úmido foram colocados em tubos de centrífuga com tampa rosca. Em cada tubo, adicionaram-se 30 mL de água destilada e uma lâmina (1,5 x 5,0 cm) de resina (AR 103 QDP 434 - Ionics, Inc.), saturada com NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹. Agitou-se por 16 h em agitador sem fim (*end-over-end*). No final desse período, as lâminas de resina foram retiradas para análise de Pi e os tubos foram centrifugados a 8.000 rpm, por 10 min, descartando-se o sobrenadante. Após isso, no conjunto *a*, adicionaram-se 3 mL de CHCl_3 e, nos *b* e *c*, 3 mL de água destilada, permanecendo por 24 h em repouso. Nos conjuntos *a* e *b*, adicionaram-se 30 mL de NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5 e, no conjunto *c*, 30 mL deste extrator com 50 mg L⁻¹ de fósforo. Após agitação por 16 h em agitador sem fim e centrifugação, determinou-se a concentração de fósforo no sobrenadante. O conteúdo de fósforo na biomassa microbiana (P microbiano) foi determinado pela equação: $\text{P microbiano} = 50(\text{P}_a - \text{P}_b) / 0,40(\text{P}_c - \text{P}_b)$ e expresso em mg dm⁻³ de solo seco, onde o fator 50/($\text{P}_c - \text{P}_b$) é o ajuste da capacidade de adsorção do solo (Morel et al., 1996) e o fator 0,4 é usado, assumindo-se que somente 40% do P microbiano é liberado como Pi pelo CHCl_3 (Brookes et al., 1982). O fluxo anual de P através da biomassa foi calculado dividindo-se

o P microbiano pelo tempo médio de renovação da população microbiana (2,5 anos - Brookes et al., 1984).

O teor de fósforo microbiano e a percentagem de fósforo orgânico na biomassa microbiana, previamente transformada em arco seno $(x)^{1/2}$, foram submetidos à análise de variância, para cada experimento e para cada camada amostrada separadamente. As médias dos métodos de preparo do solo e das sucessões de culturas, quando significativas pela análise de variância, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor médio de fósforo na biomassa microbiana no LVdf foi de 38 mg dm⁻³ e não variou com os métodos de preparo do solo ou com as sucessões de culturas (Quadro 2). Esse valor perfaz 12% do Po total do solo. No LVd, os teores de fósforo na biomassa microbiana foram maiores no SPD do que no SCC nas duas camadas mais superficiais, independentemente da cultura precedente. Na camada de 0-2,5 cm chegou a 54 mg dm⁻³, enquanto, no SCC, foi de 25 mg dm⁻³ (Quadro 3), representando uma diferença de 116%. Em média, o fósforo na biomassa variou de 11 a 6% do Po total, para o SPD e SCC, respectivamente. No PVd (Quadro 4), o teor de fósforo na biomassa microbiana variou consideravelmente, de 5 a 51 mg dm⁻³, e não foi afetado pelas sucessões de culturas. Na camada superficial, a média do SPD (50 mg dm⁻³) foi superior à do SCC (20 mg dm⁻³), representando, respectivamente, 23 e 15% do Po total. Em outro experimento com PVd, novamente o fósforo na biomassa não foi afetado pelas sucessões de culturas (Quadro 5), cujos valores foram de 39, 23 e 13 mg dm⁻³, para as camadas de 0-2,5, 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm, respectivamente, representando 17, 14 e 10% do Po total.

Em solos com altos teores de argila e de óxidos de ferro, como o LVdf (680 e 246 g dm⁻³, respectivamente) (Quadro 1), as substâncias orgânicas são protegidas física e quimicamente, sendo as taxas de decomposição dessas substâncias menos dependentes dos métodos de preparo do solo (Bayer, 1996). Como resultado, os teores de carbono orgânico total foram maiores no SPD do que no SCC somente na camada superficial, após dezoito anos de uso contínuo nos dois sistemas (Quadro 6), isto porque os resíduos permaneciam na superfície do solo no SPD.

Em solos com menores teores de argila e, principalmente, óxidos de ferro (530 e 56 g dm⁻³, respectivamente, para o LVd, e 220 e 36 g dm⁻³, respectivamente, para o PVd) (Quadro 1), a mudança no manejo do solo provocou alterações no teor de carbono, até os 7,5 cm de profundidade (Quadro 6), pois o revolvimento constante do solo acelera a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica nativa do solo. O teor de P armazenado na

Quadro 2. Fósforo na biomassa microbiana no Latssolo Vermelho Distroférico típico (LVdf) sob diferentes métodos de preparo de solo, sucessões de culturas e camadas amostradas

Camada	SCC ⁽¹⁾		SPD		
	Aveia/milho	Trigo/soja	Aveia/milho	Trigo/soja	Rotação ⁽²⁾
cm	P na biomassa, mg dm⁻³				
0- 2,5	37 ^{ns(3)}	38	37	55	60
2,5- 7,5	38	36	26	30	38
7,5-17,5	41	35	32	35	29
	P microbiano, % do Po				
0- 2,5	12,8 ^{ns}	11,8	11,3	17,0	17,9
2,5- 7,5	10,4	10,3	7,7	9,7	12,6
7,5-17,5	11,9	10,3	10,3	11,1	9,7

⁽¹⁾ SCC = sistema de cultivo convencional; SPD = sistema plantio direto. ⁽²⁾ inverno (trigo, tremoço, colza e aveia preta + trevo) e verão (milho e soja); ns = não-significativo ($p < 0,05$). ⁽³⁾ conforme procedimento GLM (dados não balanceados), descrito por Gomes & Gomes (1984).

Quadro 3. Fósforo na biomassa microbiana no Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) sob diferentes métodos de preparo de solo, culturas precedentes e camadas amostradas

Camada	SPD ⁽¹⁾			SCC		
	Sorgo ⁽²⁾	Soja	Média	Sorgo	Soja	Média
cm	P na biomassa, mg dm⁻³					
0- 2,5	56 A	53 A	54 a	27 A	23 A	25 b
2,5- 7,5	42 A	27 A	34 a	17 A	12 A	14 b
7,5-17,5	16 A	11 A	13 a	13 A	11 A	12 a
	P na biomassa, % do Po					
0- 2,5	17,8 A	15,2 A	16,5 a	9,8 A	8,5 A	9,2 b
2,5- 7,5	11,9 A	8,0 A	10,0 a	5,7 A	4,4 A	5,1 b
7,5-17,5	8,0 A	3,6 A	5,8 a	4,4 A	3,9 A	4,1 a

⁽¹⁾ SPD = sistema plantio direto; SCC = sistema de cultivo convencional. ⁽²⁾ Sorgo ou soja como cultura precedente à coleta das amostras de solo. Médias, na linha, seguidas pela mesma letra maiúscula, para cultura precedente, e minúscula, para métodos de preparo do solo, não diferem pelo teste de comparação de Tukey ($p < 0,05$).

biomassa microbiana (Quadros 3 e 4) seguiu a mesma tendência observada para o carbono.

No PVd sob cultivo convencional, o teor de carbono orgânico, estimado pelo modelo unicompartmental, seria 10,5 t ha⁻¹ menor do que o do início do (mesmo) experimento, estimado por Bayer (1996). No entanto, o não-revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos na superfície possibilitam ambiente mais equilibrado, até mesmo aumentando os teores de carbono e nitrogênio em relação aos do início do experimento, conforme determinado por Bayer (1996) e por Vargas (1997), respectivamente, e de fósforo na forma de biomassa microbiana (Quadros 3 e 4).

Os valores mais elevados de fósforo na biomassa microbiana no SPD, em relação ao SCC, foram resultantes, portanto, da conjugação do efeito *priming* no SCC e das melhorias proporcionadas pela adoção do SPD. Dentre elas, destacaram-se as menores flutuações das trocas de matéria e energia entre o solo-atmosfera e solo-hidrosfera (Cattelan, 1989), menor impacto energético das chuvas, menores perdas de água por evaporação ou por escoamento superficial e de solo e nutrientes por erosão (McDowell & McGregor, 1984) e criação de condições favoráveis ao desenvolvimento da biota edáfica nas zonas de interface solo-resíduos e solo-raízes (Doran, 1980).

Quadro 4. Fósforo na biomassa microbiana no Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd) sob diferentes métodos de preparo do solo, sucessões de culturas e camadas amostradas

Camada	SPD ⁽¹⁾			SCC		
	A/M ⁽²⁾	A + V/M + C	Média	A/M	A + V/M + C	Média
cm	P na biomassa, mg dm⁻³					
0- 2,5	51 A	49 A	50 a	20 A	21 A	20 b
2,5- 7,5	20 A	10 A	15 a	6 A	14 A	10 a
7,5-17,5	12 A	5 A	8 a	7 A	8 A	7 a
	P na biomassa, % do Po					
0- 2,5	27,5 A	19,0 B	23,3 a	16,5 A	13,5 A	15,0 b
2,5- 7,5	13,5 A	5,5 B	9,5 a	6,0 A	10,5 A	8,3 a
7,5-17,5	7,5 A	3,5 B	5,5 a	6,0 A	6,0 A	6,0 a

⁽¹⁾ SPD = sistema plantio direto; SCC = sistema de cultivo convencional. ⁽²⁾ A/M = aveia preta / milho; A + V/M + C = aveia preta + ervilhaca / milho + caupi. Médias, na linha, seguidas pela mesma letra maiúscula, para sucessões de culturas, e minúscula, para métodos de preparo do solo, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quadro 5. Fósforo na biomassa microbiana no Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd) sob sistema plantio direto com diferentes sucessões de culturas e camadas amostradas

Camada	Aveia/milho	Aveia + vica/milho + caupi	Guandu/milho
cm	P na biomassa, mg dm⁻³		
0- 2,5	38 ^{ns}	38	40
2,5- 7,5	22	24	25
7,5-17,5	11	17	11
	P na biomassa, % do Po		
0- 2,5	19,0 ^{ns}	15,5	15,4
2,5- 7,5	17,5	12,4	12,1
7,5-17,5	10,1	11,5	7,7

^{ns} não-significativo ($p < 0,05$).

Os teores de fósforo na biomassa microbiana mostraram-se relativamente altos, comparados aos teores médios (2 a 5% do Po total) de solos aráveis citados na literatura (Magid et al., 1996), embora possam ser maiores (14 a 20% do Po total), especialmente sob pastagens naturais (Qualls & Richardson, 1995). Num solo tropical, Srivastava & Singh (1991) encontraram 32, 22 e 20 mg kg⁻¹ de fósforo na biomassa microbiana, os quais representaram 11,2, 12,2 e 19,2% do Po total, para solo sob floresta, savana e lavouras anuais, respectivamente. Então, além da alta quantidade de biomassa microbiana, conforme verificado por Vargas (1997) no terceiro experimento deste trabalho, deve ter ocorrido um incremento na concentração de fósforo nas células microbianas, especialmente no SPD nos solos LVd e PVd. Assim, o fósforo inorgânico pode ser, em parte, convertido em formas orgânicas (Araujo et al., 1993; Rheinheimer et al., 1998), inclusive, na biomassa microbiana, coincidindo com os resultados de Chauhan et al. (1979), Saffigna et al. (1989) e Guerra (1993).

O fluxo de fósforo através da biomassa microbiana, média ponderada da camada de 0-17,5 cm, foi de 26 e 25 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no LVdf; 18 e 11 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no LVd, e 11 e 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no PVd, para o SPD e o SCC, respectivamente. Os três solos têm sido regularmente fertilizados com fosfatos solúveis, aumentando o seu caráter fonte de P (Novais & Smyth, 1999), cujos teores disponíveis (Quadro 1) estão muito acima dos níveis críticos de resposta das culturas (Comissão, 1995), diminuindo a mineralização do Po, em virtude da redução da atividade enzimática (Ross et al., 1995). Neste caso, o fósforo liberado na solução do solo permanece em formas lábeis, podendo ser absorvido pelas plantas e, ou, transferido à próxima geração de microrganismos. Nos solos das regiões tropicais e subtropicais, o fluxo de P através da biomassa pode ser maior, se for considerada uma taxa média de renovação da comunidade microbiana de 80% (Srivastava & Singh, 1991) ao invés de 40% (Brookes et al., 1984), pois, nestas condições, a temperatura e umidade do solo são mais adequadas à renovação microbiana.

Quadro 6. Carbono orgânico total em diferentes tipos de solos, métodos de preparo e camadas amostradas

Solo	Sistema	Camada amostrada (cm)		
		0-2,5	2,5-7,5	7,5-17,5
g dm ⁻³				
LVdf ⁽¹⁾	SPD ⁽²⁾	26,6 a	22,9 b	20,9 b
	SCC	21,5 b	25,2 a	23,7 a
LVd	SPD	33,0 a	27,5 a	22,2 a
	SCC	19,2 b	20,0 b	21,1 a
PVD	SPD	28,1 a	22,4 a	17,2 a
	SCC	16,5 b	17,5 b	17,4 a
PVd	A/M ⁽³⁾	27,1 c	18,8 b	16,0 a
SPD	A+V/M+C	31,6 b	21,0 a	16,1 a
	G+M	39,9 a	21,6 a	17,0 a

⁽¹⁾ LVdf = Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso; LVd = Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso; PVD = Argissolo Vermelho Distrófico típico franco arenoso argiloso. ⁽²⁾ SPD = sistema plantio direto; SCC = sistema de cultivo convencional. ⁽³⁾ A/M = aveia/milho; A + V/M + C = aveia + vica/milho + caupi; G + M = guandu + milho. Médias, na coluna, seguidas pela mesma letra, para métodos de preparo do solo ou sucessões de culturas, não diferem pelo teste de comparação de Tukey ($p < 0,05$).

Considerando a grande variabilidade no tipo de planta cultivada e, provavelmente, na qualidade dos resíduos, os teores de P na biomassa microbiana não se alteraram em nenhum dos três solos. A liberação do P dos resíduos vegetais mostrou-se dependente da natureza da qualidade do material orgânico, da comunidade decompositora e das condições ambientais.

Plantas utilizadas nos experimentos, como aveia, ervilhaca, colza, caupi e guandu, apresentaram teores de lignina e polifenóis e relações C/N, lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N diferentes, alterando a velocidade de liberação dos nutrientes; todavia, todas foram cultivadas em solos com altos teores de P disponível. Deste modo, os resíduos devem ser ricos em P, cuja liberação do P solúvel (Pi e monoésteres) nos estádios iniciais da decomposição, graças à ruptura da célula, garante adequado fornecimento de P à população decompositora (Thian et al., 1992; Frossard et al., 1995), além da alta disponibilidade desse nutriente na solução do solo, decorrente da adição de fertilizantes. Sendo assim, o tamanho da população microbiana é limitado pela disponibilidade de fonte carbônica e energética e não pela qualidade do resíduo.

A atividade microbiana é mais elevada nos sítios próximos aos detritos (detritosfera), aos canais biológicos (drilosfera), às hifas fúngicas (hifosfera) e, principalmente, na rizosfera (Foster, 1988). Como o sistema radicular ocupa menos do que 1% do volume do solo (Jungk, 1991) e o fato de, no SPD, os resíduos vegetais permanecerem na superfície do solo, acredita-se que o fluxo de fósforo via biomassa, nesses dois sítios, possa contribuir para a nutrição das plantas. O fluxo de P através da biomassa microbiana tem sustentado o crescimento das plantas em solos de ecossistemas naturais das regiões tropicais e subtropicais (Tiessen et al., 1992), onde naturalmente a biodisponibilidade desse nutriente está muito restrita à biota, a qual recicla os nutrientes contidos nos resíduos (Stewart & Tiessen, 1987).

Deste modo, os altos teores de fósforo contidos na biomassa microbiana nos solos do presente estudo, especialmente na camada superficial do SPD, representam uma forma eficiente de armazenamento desse nutriente (Brookes et al., 1982; Hedley & Stewart, 1982; Hands et al., 1995; Selles et al., 1997). Considerando, ainda, as flutuações de temperatura e umidade, principalmente, pode haver a liberação de quantidades consideráveis desse nutriente, pelo aumento da atividade microbiológica e respectiva morte de parte da comunidade, ou mesmo por suas modificações qualitativas (Sarthchandra et al., 1989; Tate et al., 1991).

CONCLUSÕES

1. Os teores de fósforo microbiano não foram alterados pelos métodos de preparo do solo no Latossolo Vermelho Distrófico típico, mas foram maiores sob sistema plantio direto no Latossolo Vermelho Distrófico típico e no Argissolo Vermelho Distrófico típico, em comparação ao cultivo convencional.

2. A utilização de diferentes rotações de culturas anuais não alterou os teores de fósforo microbiano.

3. O fluxo anual de P através da biomassa variou de 8 a 22 mg dm⁻³ ano⁻¹ e, no Argissolo Vermelho Distrófico típico, foi maior no sistema plantio direto do que no cultivo convencional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Mielniczuk (UFRGS) e aos pesquisadores Rainoldo Alberto Kochhann (EMBRAPA - CNPT), Armando Dalla Rosa e João Becker (COTRISA), pela permissão de uso das áreas experimentais as quais serviram de base para este trabalho.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. R. Bras. Ci. Solo, 17:389-396, 1993.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado)
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol. Biochem., 14:319-329, 1982.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 16:169-175, 1984.
- BUCHANAN, M. & KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus, and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems. Biol. Fertil. Soils, 13:211-217, 1992.
- CATTELAN, A.J. Avaliação da biomassa e população microbiana em solo submetido a diferentes manejos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 130p. (Tese de Mestrado)
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B. & PAUL, E.A. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic and microbially held phosphate. Can. J. Soil Sci., 59:387-396, 1979.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, SBCS/NRS/EMBRAPA/CNPq, 1995. 224p.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:765-771, 1980.
- FOSTER, R.C. Microenvironments of soil microorganisms. Biol. Fertil. Soils, 6:189-203, 1988.
- FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J. & METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soils. In: TIESSSEN, H., ed. Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. Chichester, John & Wiley, 1995. p.107-137.
- GOMES, K.A. & GOMES, A. A. Statistical Procedures for Agricultural Research, 2.ed. New York, John & Wiley & Sons, 1984. 680p.
- GUERRA, J.G.M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* STAPF., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993. 234p. (Tese de Doutorado)
- HANDS, M.; HARRISON, A.F. & BAYISS-SMITH, R. Phosphorus dynamics in slash-and-burn and alley cropping on ultisols of the humid tropics. In: TIESSSEN, H., ed. Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. Chichester, John & Wiley & Sons, 1995. p.155-170.
- HEDLEY, M.J. & STEWART, J.W.B. Method to measure microbial phosphate in soils. Soil Biol. Biochem., 14:377-385, 1982.
- JUNGK, A.O. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. Plant roots: The hidden half. New York, Marcel Dekker, 1991. p.455-481.
- MAGID, J.; TIESSSEN, H. & CONDRON, L.M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A., ed. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.429-466.
- McDOWELL, L.L. & MCGREGOR, K.C. Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. Soil Till. Res., 4:79-91, 1984.
- McGILL, W.B. & COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S, and P through soil organic matter. Geoderma, 26:267-286, 1981.
- MOREL, C.; TIESSSEN, H. & STEWART, J.W.B. Correction for P-sorption in the measurement of soil microbial biomass P by CHCl₃ fumigation. Soil Biol. Biochem., 28:1699-1706, 1996.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N. & BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. The biological management of tropical soil fertility. Chichester, John & Wiley & Sons, 1994. p.81-116.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OLSEN, S.R. & SOMMER, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, Q.R., eds. Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, ASA-Soil Science Society American, 1982. p.403-430 (Agronomy Monograph, 9)
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biol. Biochem., 23:83-88, 1991.
- QUALLS, R.G. & RICHARDSON, C. Forms of soil phosphorus along a nutrient enrichment gradient in the northern everglades. Soil Sci., 160:183-198, 1995.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & CONTE, E. Frações de fósforo em sistemas de manejo de solo. In: FERTIBIO, I., Caxambu, 1998. Resumos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.104.
- ROSS, D.J.; SPEIR, T.W.; KETTLES, H.A. & MACKAY, A.D. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. Soil Biol. Biochem., 27:1431-1443, 1995.
- SAFFIGNA, P.G.; POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & THOMAS, G.A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. Soil Biol. Biochem., 21:759-765, 1989.
- SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M. & MATOCHA, J.E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:152-159, 1997.
- SARATHCHANDRA, S.U.; PERROTT, K.W. & LITTLER, R.A. Soil microbial biomass: influence of simulated temperature changes on size, activity and nutrient-content. Soil Biol. Biochem., 21:987-993, 1989.

- 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.
- SRIVASTAVA, S.C. & SINGH, J.S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. *Soil Biol. Biochem.*, 23:117-124, 1991.
- STEWART, J.W. & TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochem.*, 4:41-60, 1987.
- TATE, K.R.; SPEIR, T.W.; ROSS, D.J.; PARFITT, R.L.; WHALE, K.N. & COWLING, J.C. Temporal variations in some plant and soil P pools in two pasture soils of widely different P fertility status. *Plant Soil*, 132:219-232, 1991.
- THIAN, G.; KANG, B.T. & BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions - decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1051-1060, 1992.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agr. Ecos. Envir.*, 39:139-151, 1992.
- WHITE, R.E. & AYOUB, A.T. Decomposition of plant residues of variable C/P ration and the effect on soil phosphate availability. *Plant Soil*, 74:163-173, 1983.
- VARGAS, L.C. Biomassa e atividade microbiana em sistemas de manejo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 111p. (Tese de Mestrado)

