



FERTBIO 2012

A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola
17 a 21 de Setembro - Centro de Convenções - Maceió/Alagoas

Alteração nos teores de carbono e fósforo orgânico em um Latossolo após 23 anos sob diferentes preparos de solo e culturas de inverno

Carlos Alberto Casali⁽¹⁾; Tales Tiecher⁽¹⁾; Danilo Rheinheimer dos Santos⁽³⁾; Ademir Calegari⁽⁴⁾; Rogério Piccin⁽²⁾; Marcos Antônio Bender⁽²⁾; Elci Gubiani⁽²⁾; Roque Junior Sartori Bellinaso⁽²⁾; Gilmar Schaefer⁽²⁾

⁽¹⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFSM, betocasali@yahoo.com.br, tales.t@hotmail.com.

⁽²⁾Estudante do curso de Agronomia da UFSM, Departamento de Solos, Avenida Roraima, N° 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul, rogeriopiccin@hotmail.com, marcosantonibender@yahoo.com.br, elcigubiani@hotmail.com, roquejuniorbellinaso@hotmail.com.

⁽³⁾Professor do Departamento de Solos da UFSM, danielonesaf@gmail.com. ⁽⁴⁾Pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Área de Solo, Londrina, Paraná, calegari@iapar.br.

RESUMO– O fósforo (P) orgânico é importante fonte de fosfato para as plantas, tanto em ambientes naturais quanto em solos cultivados. O cultivo de plantas com alta capacidade de reciclagem de P pode aumentar a importância das formas orgânicas na disponibilização de fosfato, especialmente quando o solo não é revolvido. O presente estudo objetivou avaliar em um solo muito argiloso sob longo período de cultivo (i) o efeito de diferentes preparos de solo e (ii) o efeito do cultivo de diferentes espécies de plantas de inverno, no teor de carbono e fósforo orgânico do solo. Em 1986 foi estabelecido o experimento com seis tratamentos de inverno (trevo azul, ervilhaca peluda, aveia preta, nabo forrageiro, trigo e pousio) implantados num Latossolo Vermelho Aluminoférrico na região sudoeste do Paraná, sob sistema plantio direto (SPD) e sistema de cultivo convencional (SCC). As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2009 em cinco profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Sistemas de manejo do solo conservacionistas, como o SPD, aumentam o teor de carbono e fósforo orgânico total do solo da camada superficial comparativamente ao SCC, mas não é suficiente para recuperar os teores de carbono orgânico total original do solo sob mata nativa. O cultivo de plantas durante o inverno aumenta o teor de carbono orgânico total do solo independentemente do sistema de manejo de solo adotado, mas não altera o teor de P orgânico total do solo estimado pelo método de ignição.

Palavras-chave: sistema plantio direto, sistema de cultivo convencional, plantas de cobertura.

INTRODUÇÃO

A transformação dos ecossistemas naturais em áreas cultivadas altera a distribuição das formas de fósforo (P) no solo, principalmente das formas orgânicas. Geralmente, o P orgânico declina rapidamente em sistemas de cultivo contínuo sem aplicação de fertilizantes fosfatados, o que, geralmente ocorre concomitantemente com a diminuição dos teores de

carbono orgânico total (COT) e P total (Solomon e Lehmann, 2000; Solomon et al., 2002). São escassas as informações a respeito dos fatores que favorecem o aumento do P orgânico do solo, mas normalmente ocorre em sistemas onde os teores de COT e P total são aumentados ou não são profundamente alterados (Nziguheba e Bünemann, 2005).

Solos sob sistemas de manejo conservacionistas, como o SPD, apresentam maior teor de COT e de P total nas camadas superficiais, comparativamente ao SCC, em função da ausência de revolvimento que permite o acúmulo de P aplicado via fertilizantes e de carbono e P de resíduos culturais, como observado por Rheinheimer e Anghinoni et al (2001), Redel et al. (2007) e Zamuner et al. (2008). Tais condições são adequadas para maior transformação do P inorgânico em formas orgânicas, principalmente o adicionado via fertilizantes, aumentando a importância das reações biológicas do P no solo da camada superficial sob SPD (Rheinheimer e Anghinoni, 2003).

Segundo Horst et al. (2001), o cultivo de diferentes espécies de plantas altera a dinâmica do P no solo principalmente devido à reciclagem do P mobilizado via resíduo e à colonização de microrganismos mobilizadores de P na rizosfera das culturas subsequentes em sistemas de rotação. Nesse sentido, Rheinheimer e Anghinoni (2003) relatam que o menor teor de P orgânico no solo sob sucessão de aveia (*Avena strigosa* Schreb)/milho (*Zea mays* L.) comparativamente ao solo cultivado com aveia+ervilhaca (*Vicia* sp.)/milho+caupi (*Vigna unguiculata* subs *unguiculata* L. Walp) e ao solo cultivado com guandu (*Cajanus cajan* L. Millsp)+milho, foi devido à maior entrada de resíduos de plantas ao solo e/ou a habilidade das plantas como caupi e guandu absorverem altas quantidades de P da solução do solo.

O presente estudo objetivou avaliar em um solo muito argiloso sob longo período de cultivo o efeito de diferentes preparos de solo nos teores de carbono e fósforo orgânico do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local de estudo

O experimento foi instalado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) no município de Pato Branco, Sudoeste do Paraná (52° 41' W e 26° 07' S). O clima da região é subtropical úmido, Cfb, segundo classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.200 a 1.500 milímetros. O relevo é suave ondulado com pendentes entre 4-7% de declividade, com clima caracterizado por verão fresco, temperaturas médias de 22°C nos meses mais quente e 18°C no mês mais frio, sem estação seca definida. O solo é um Latossolo Vermelho Aluminoférrico, muito argiloso, formado a partir de rochas de derramamento basáltico.

Histórico e desenho da área experimental

A área experimental era coberta por Mata Atlântica até 1976, quando esta foi derrubada, passando-se a cultivar o solo com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sob o sistema de cultivo convencional (SCC), com aração e gradagens leves. A partir do inverno de 1986 foram definidos os tratamentos, que consistiam em 12 cultivos de plantas anuais de inverno sob dois sistemas de preparos de solo (SPD e SCC). No presente estudo foram avaliados os tratamentos cultivados com tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), e pousio, sob SCC (uma aração e duas gradagens antes de cada cultivo) e sob SPD.

Os tratamentos de inverno foram implantados em 12 dos 23 cultivos (1986-1990, 1992, 1994, 1999-2001, 2005 e 2008). Em 1991, 1995, 1996, 1998, 2006 e 2009 cultivaram-se aveia preta, e em 1997, 2002-2004 e 2007 foi cultivada aveia preta consorciada com nabo forrageiro em todas as parcelas, exceto no tratamento pousio. Em 1993, todas as parcelas permaneceram em pousio. As plantas foram controladas no estádio de pleno florescimento através de rolo-faca (tremoço, ervilhaca peluda, aveia preta e nabo forrageiro) ou pela aplicação de herbicidas (pousio), sendo que ocasionalmente, após o rolo-faca, o controle da vegetação era complementado com herbicida. As parcelas com trigo foram colhidas até 1995 (7 cultivos), e seus resíduos deixados na superfície do solo antes do preparo de solo para o cultivo de verão. Nos demais anos o trigo foi manejado como as demais plantas de cobertura. No verão, toda a área era cultivada com soja (*Glycine max* L.) ou milho, sendo a soja cultivada 13 vezes (1989-1991, 1993, 1995, 1997, 1998, 2000-2002, 2004, 2005 e 2007) e o milho 9 (1986-1988, 1992, 1994, 1996, 1999, 2003 e 2008). Em 2006 não foi realizado nenhum cultivo de verão.

A adubação foi realizada sempre nos cultivos de verão sendo a mesma quantidade de fertilizante aplicado em todos os tratamentos. Fósforo, potássio e 1/3 do nitrogênio (N) foram aplicados na linha de semeadura, e o restante do N 45 dias após. O total de fertilizantes aplicados durante o período foi 1510 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 805 kg ha⁻¹ de K₂O e 501 kg ha⁻¹ de N. Durante o período de condução do experimento foi aplicado calcário em superfície 6 vezes, num total de 11,5 Mg ha⁻¹ (1,0; 2,0; 3,0; 1,5; 2,0; 2,0 Mg ha⁻¹ de calcário em todas as parcelas,

em 1989, 1992, 1995, 1999, 2001 e 2006 respectivamente).

Coleta das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2009, em duas trincheiras abertas em cada parcela, em cinco profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). As subamostras das duas trincheiras de cada parcela foram misturadas para compor a amostra da respectiva profundidade. Também, foi coletada amostra de solo sob mata nativa, em área contígua a área experimental. Logo após a coleta, o solo das amostras foi seco em estufa de circulação forçada de ar a ±60°C, moído, peneirado em malha de 2,0mm e armazenado.

Análise de solo

O P total foi estimado por digestão com H₂SO₄ e H₂O₂ na presença de MgCl₂ saturado (Olsen e Sommers, 1982). A estimativa do P orgânico total (POT) foi feita pelo método de ignição do solo a 550°C, com posterior extração com H₂SO₄ 0,25 mol L⁻¹, sendo a quantidade de P orgânico obtido pela diferença entre o P extraído da amostra ignificada e a não ignificada (Olsen e Sommers, 1982). O teor de carbono orgânico total (COT) foi estimado pelo método de Walkley-Black (Tedesco et al., 1995).

Análises estatísticas

Para análise da variância (ANOVA) dos dados de P total, COT e fósforo orgânico no solo, o seguinte modelo estatístico foi utilizado:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + \text{erro } a(i, j) + S_k + \text{erro } b(i, k) + PS_{jk} + \text{erro } c(i, j, k) + C_l + \text{erro } d(i, l) + PC_{jl} + \text{erro } e(i, j, l) + SC_{kl} + \text{erro } f(i, k, l) + PSC_{jkl} + \text{erro } g(i, j, k, l)$$

onde μ = média experimental; B = blocos ($i = 1, 2, 3$); P = planta de inverno ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$); S = sistema de manejo do solo ($k = 1, 2$); C = camada de solo ($l = 1, 2, 3, 4, 5$) e erro = erro experimental. Quando os efeitos dos tratamentos foram significativos a 5% de probabilidade de erro pelo teste de F, as diferenças entre as médias dos tratamentos de inverno, sistemas de manejo de solo e camadas de solo foram comparadas pelo teste de Tukey (HSD) ($p < 0,05$).

Posteriormente, em cada camada de solo o teor de P total, COT e fósforo orgânico da área de referência sob mata nativa ($n=3$) foi comparada com o solo cultivado sob SPD ($n=18$) e sob SCC ($n=18$) utilizando o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U.

RESULTADOS

Os resultados da significância dos efeitos dos fatores experimentais e suas interações no teor de P total, COT e fósforo orgânico, como resultado da análise da variância (ANOVA) são apresentados na Tabela 1.

O solo da camada 0-5 cm sob SPD apresentou maior teor de P total, COT e POT que o solo sob SCC (Tabela 2). Para as outras camadas de solo, o não revolvimento do solo (SPD) não interferiu no teor de COT, comparativamente ao SCC (Tabela 2). Já para o P total,

nas camadas 10-20 e 20-30 cm do solo sob SCC, o teor foi superior ao encontrado no SPD (Tabela 2).

Tabela 1 – Significância dos efeitos dos fatores experimentais e suas interações no teor de P total, carbono orgânico total (COT) e P orgânico, como resultado da análise da variância (ANOVA).

Fator	P total	COT	P orgânico
Planta (P)	NS	NS	NS
Sistema (S)	NS	*	NS
Camada (C)	***	***	***
P x S	NS	*	NS
P x C	NS	*	NS
S x C	***	***	***
P x S x C	NS	NS	NS

NS, não significativo; * significativo a $P < 0,05$; ** significativo a $P < 0,01$; *** significativo a $P < 0,001$.

Comparado ao solo sob mata nativa, o solo cultivado sob SCC apresentou maior teor de P total até 30 cm de profundidade, enquanto sob SPD o P total foi maior até 20 cm de profundidade (Tabela 2). Para todas as camadas de solo, o teor de POT foi igual no solo sob mata nativa e no solo cultivado sob SPD e SCC. Já o teor de COT foi maior no solo sob mata nativa do que no solo cultivado sob SPD e SCC, em todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Teores de P total, carbono e P orgânico total nas camadas de solo afetado pelo sistema plantio direto (SPD) e cultivo convencional (SCC) após 23 anos.

Camada	SPD	SCC	Mata	p -SPD ^a	p -SCC ^a
cm	P total (mg kg ⁻¹) [†]				
0-5	1887 aA	1514 aB	1268	0,002	0,006
5-10	1488 bA	1472 abA	1189	0,002	0,006
10-20	1308 cB	1435 bA	1118	0,047	0,002
20-30	1188 dB	1289 cA	1074	0,221	0,035
30-40	1125 dA	1155 dA	1039	0,471	0,209
	Carbono orgânico total (g kg ⁻¹) [†]				
0-5	33.3 aA	22.9 aB	41.2	0,008	0,002
5-10	23.7 bA	22.7 aA	30.5	0,002	0,002
10-20	21.0 cA	21.8 aA	24.4	0,017	0,125
20-30	17.9 dA	18.1 bA	22.1	0,006	0,024
30-40	15.7 dA	15.2 cA	19.1	0,024	0,017
	P orgânico estimado por ignição (mg kg ⁻¹) [†]				
0-5	447 aA	363 aB	399	0,221	0,062
5-10	352 bA	341 abA	353	0,962	0,887
10-20	330 bB	348 aA	312	0,471	0,047
20-30	294 cB	314 bA	276	0,546	0,125
30-40	272 cA	278 cA	246	0,221	0,221

[†] Valores para cada sistema de manejo de solo em cada camada são a média de seis tratamentos de inverno ($n=18$); médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a $P < 0,05$.

^a Probabilidade de diferença entre o solo da floresta e o solo cultivado sob SPD ou SCC pelo teste Mann-Whitney U .

Sob SPD, os solos cultivados com plantas de inverno e o solo deixado em pousio acumularam maior teor de COT no perfil de solo, comparativamente ao SCC (Tabela 3). O cultivo de plantas durante o inverno aumentou teor de COT em ambos os sistemas de manejo, principalmente no solo das camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) (Tabela 3), mas não alterou o teor de P total e POT (Tabela 1).

DISCUSSÃO

O maior teor de COT da camada superficial do solo sob SPD comparativamente ao SCC foi resultado do revolvimento mínimo do solo sob SPD, deixando apenas uma pequena parte dos resíduos orgânicos em contato com o solo, que dificulta a sua decomposição pelos microrganismos. Já no SCC, o revolvimento do solo aumenta seu contato com os resíduos orgânicos, facilitando a sua exposição aos microrganismos, o que acelera a sua decomposição. Contudo, o maior teor de COT se restringiu apenas à camada de 0-5 cm do solo sob SPD. Adicionalmente, o pousio hibernal durante 23 anos resultou em menor teor de COT do solo das camadas superficiais devido à menor quantidade de resíduos orgânicos produzidos. Mesmo assim, o teor de COT foi bastante elevado. Calegari et al. (2008) relatam que isto ocorre devido às condições de clima com temperaturas amenas e a alta capacidade de proteção física e química do carbono nesse solo, proporcionada pelos elevados teores de argila (720 g kg⁻¹ de solo), dos quais 68% são minerais 1:1 e 13% são óxidos de ferro.

O maior teor de COT e de P total, a maior deposição de resíduos orgânicos e maior atividade microbiana no solo da camada superficial (0-5 cm) sob SPD, comparativamente ao SCC, resultou em maior transformação do P inorgânico adicionado via fertilizantes em formas orgânicas.

Apesar de não existir diferença nos teores de COT entre os sistemas de preparo de solo abaixo de 10 cm de profundidade, existe entrada frequente de resíduo orgânico em subsuperfície através do revolvimento do solo no SCC antes de cada cultivo. Esta operação proporcionou também distribuição do P adicionado via fertilizantes em profundidade, aumentando os teores de P total no solo das camadas 10-20 e 20-30 cm.

CONCLUSÕES

O uso de sistema de manejo do solo conservacionista, como o SPD, por 23 anos aumenta o teor de carbono e fósforo orgânico total do solo comparativamente ao SCC, mas seu efeito se restringe à camada de 0-5 cm e não é suficiente para recuperar os teores de carbono orgânico total original do solo sob mata nativa.

O cultivo de plantas durante o inverno aumenta o teor de carbono orgânico total do solo independentemente do sistema de manejo de solo adotado, mas não altera o teor de P orgânico total do solo estimado pelo método de ignição.

REFERÊNCIAS

CALEGARI, A. et al. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. *Agronomy Journal*, v. 100, p. 1013-1019, 2008.

- HORST, W.J. et al. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil**, 237:211-223, 2001.
- NZIGUHEBA, G.; BÜNEMANN, E. K. Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems. In: TURNER B. L.; FROSSARD E.; BALDWIN D. S. (Eds). **Organic Phosphorus in the Environmental**. Ed. 1. CAB International, Wallingford, UK, 2005. p. 243-268.
- OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E.; Phosphorus. Methods of Soil Analysis, Part 2. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. (Eds). **Chemical and Microbiological Properties**. ed. 1. Soil Science Society of America. Madison, p. 403-430, 1982.
- REDEL Y. D. et al. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol, **Geoderma**, v. 139, p. 388-396, 2007.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2339-2354, 2003.
- SOLOMON, D. et al. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands, **Geoderma**, v. 105, p. 21-48, 2002.
- SOLOMON, D.; LEHMANN J. Loss of phosphorus from soil in semi-arid northern tanzania as a result of cropping: evidence from sequential extraction and ³¹p-nmr spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 51, p. 699-708, 2000.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. UFRGS/FA/DS, 1995. 174 p.
- ZAMUNER, E. C.; PICONE, L. I., ECHEVERRIA, H. E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices, **Soil & Tillage Research**, v. 99, p. 131-138, 2008.

Tabela 3 – Carbono orgânico total (g kg⁻¹) do solo afetado pelo sistema plantio direto (SPD) e cultivo convencional (SCC) e culturas de inverno após 23 anos.

Fator	Cultura de inverno					
	Aveia	Ervilhaca	Nabo	Pousio	Tremoço	Trigo
<i>Sistema de manejo</i> †						
SPD	22,6 aAB	21,5 aBC	21,8 aBC	20,8 aC	23,6 aA	22,8 aAB
SCC	21,0 bA	19,8 bAB	20,0 bAB	19,0 bB	19,7 bAB	21,2 bA
<i>Camada</i> ‡						
0-5	28,8 aA	27,9 aA	28,0 aA	24,9 aB	29,6 aA	28,5 aA
5-10	24,1 bA	22,6 bAB	23,0 bAB	21,1 bB	23,8 bA	23,8 bA
10-20	22,0 bA	20,5 bA	21,4 bA	20,4 bA	21,7 bA	22,3 bA
20-30	19,0 cA	16,8 cA	17,4 cA	17,6 cA	18,5 cA	18,7 cA
30-40	15,3 cA	15,6 dA	14,7 cA	15,5 dA	14,7 cA	16,8 dA

† Valores para cada sistema de manejo de solo em cada tratamento de inverno são a média de 5 profundidades (n=15); médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a $P < 0,05$.

‡ Valores para cada camada dentro de cada tratamento de inverno são a média de dois sistemas de manejo de solo (n=6); médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a $P < 0,05$.