



XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

GLOMALINA, ATIVIDADE DE FOSFATASE ÁCIDA E MATÉRIA ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB VEGETAÇÃO NATIVA DE CERRADO E SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO E DOSES DE FÓSFORO

André Alves de Castro Lopes⁽¹⁾; Rafael de Souza Nunes⁽²⁾; Djalma Martinhão Gomes de Sousa⁽³⁾; Wenceslau J. Goedert⁽⁴⁾; Cícero Donizete Pereira⁽³⁾; Fábio Bueno dos Reis Junior⁽³⁾; Ieda de Carvalho Mendes⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudante de pós-graduação (Mestrado) em Agronomia da Universidade de Brasília (UnB) - Bolsista CAPES, Laboratório de Microbiologia; Embrapa Cerrados BR 020 Km 18, Planaltina, DF - Brasil CEP 73310-970 Caixa Postal: 08223. e-mail: andrealvesagronomo@yahoo.com.br; ⁽²⁾ Estudante de pós-graduação (Doutorado) em Agronomia da Universidade de Brasília (UnB); Embrapa Cerrados BR 020 Km 18, Planaltina, DF - Brasil CEP 73310-970 Caixa Postal: 08223 ⁽³⁾ Pesquisadores da Embrapa Cerrados; Embrapa Cerrados BR 020 Km 18, Planaltina, DF - Brasil CEP 73310-970 Caixa Postal: 08223. ⁽⁴⁾ Professor Associado da Universidade de Brasília (UnB); Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV - Campus Universitário Darcy Ribeiro, Caixa Postal 04508, CEP 70910-900, Brasília-DF.

Resumo – A fosfatase ácida pertence ao grupo das fosfomonoesterases, enzimas que desempenham importante papel na mineralização do P orgânico no solo e, conseqüentemente na nutrição das plantas. A glomalina é uma glicoproteína, produzida por fungos micorrizicos arbusculares que tem atraído o interesse dos cientistas devido ao fato de poder se constituir num importante componente do estoque de C no solo além de estar associada com a abundância de agregados estáveis em água. Objetivou-se avaliar o efeito de sistemas de manejo do solo baseados em sistemas de preparo, plantas de cobertura e adubação fosfatada nos teores de matéria orgânica, glomalina e na atividade da enzima fosfatase ácida, em um Latossolo Vermelho de cerrado cultivado por 12 anos com uma sucessão soja-milho. O estudo foi realizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, num experimento instalado em 1999. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas divididas, sendo três sistemas de manejo (sistema de preparo convencional com milheto, sistema plantio direto com milheto e sistema plantio direto com mucuna preta) nas parcelas e três doses de fósforo (0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, aplicados anualmente no sulco de semeadura) nas subparcelas. Uma área sob vegetação nativa de Cerrado foi utilizada como referência das condições originais do solo. Os teores de matéria orgânica, glomalina e a atividade da enzima fosfatase ácida decresceram na seguinte ordem: Cerrado > SPD > SPC. A adubação fosfatada nas áreas cultivadas não influenciou a glomalina e a fosfatase ácida.

Palavras-Chave: plantio direto, plantio convencional, milheto, mucuna, matéria orgânica do solo.

INTRODUÇÃO

Além do P imobilizado na biomassa microbiana e das associações micorrizicas, os microrganismos afetam diretamente a habilidade das plantas em adquirirem P do solo através de vários mecanismos, tais como a excreção de íons hidrogênio, a liberação de

ácidos orgânicos, a produção de sideróforos e a produção de enzimas fosfatases que são capazes de hidrolisar o P orgânico (Mendes & Reis Junior, 2003).

As fosfatases do solo englobam cinco grupos de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres (C-O-P) e anidridos de H₃PO₄, dentre os quais as fosfomonoesterases (fosfatases ácidas e alcalinas) são o grupo mais estudado, desempenhando importante papel nos processos de mineralização do P orgânico no solo e, conseqüentemente na nutrição das plantas (Tabatabai, 1994).

A glomalina é uma glicoproteína, produzida por fungos micorrizicos arbusculares que devido a algumas características como ubiquidade, recalcitrância e conseqüentemente longo tempo de residência no solo, tem atraído o interesse dos cientistas devido ao fato de poder se constituir num importante componente do estoque de C (Nichols & Wright, 2006), além de estar associada com a abundância de agregados estáveis em água (Wright & Upadhyaya, 1998), fertilidade do solo (Nichols & Wright, 2005) e biorremediação de solos contaminados (González-Chavez et al., 2004).

O estudo pioneiro que resultou na descoberta da glomalina foi realizado por Wright & Upadhyaya, (1996). Assim, existe nos solos tropicais, particularmente nos solos de cerrado, uma carência de estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo nos teores de glomalina, e das relações entre essa proteína e outros parâmetros relacionados ao ciclo do P no solo.

O teor de matéria orgânica do solo depende do balanço entre entradas e saídas de carbono no sistema, que é influenciado principalmente pela quantidade de resíduos orgânicos depositados no solo e sua taxa de decomposição (Bayer & Mielniczuk, 1999). Assim, espera-se que o grau de revolvimento do solo, afetando a atividade microbiana (Mendes et al. 2003) e o nível de disponibilidade de fósforo, afetando a produção de biomassa (Nunes et al., 2011, no prelo), influenciem a matéria orgânica do solo.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de manejo do solo baseados em sistemas de preparo, plantas de cobertura e adubação fosfatada nos teores de matéria orgânica, glomalina e na atividade da enzima fosfatase ácida, em um latossolo vermelho de cerrado cultivado com uma sucessão soja-milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, num experimento instalado em 1999, num Latossolo Vermelho escuro de textura argilosa (57% argila), que tem como objetivo principal a avaliação agrônômica de fontes, doses e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados em solos de alta fertilidade (10,0 mg dm⁻³ de P - Mehlich 1, na camada de 0 a 20 cm) sob cultivo de grãos, numa sucessão soja-milho.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas divididas e três repetições. Nas parcelas foram distribuídos os três sistemas de manejo: i) sistema de preparo convencional (constituído de uma aração e uma gradagem, realizadas imediatamente antes do plantio), tendo o milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura (SPC milheto), ii) sistema plantio direto, com milheto como planta de cobertura (SPD milheto) e iii) sistema plantio direto com mucuna (*Mucuna aterrima*), como planta de cobertura (SPD mucuna). Nas subparcelas foram aplicados os tratamentos de adubação fosfatada constituídos por doses anuais de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se o fertilizante superfosfato triplo granulado aplicado no sulco de plantio. Uma área sob vegetação nativa de Cerrado foi utilizada como referência das condições originais do solo.

A amostragem objeto deste estudo foi realizada em janeiro de 2011 quando a área estava sob cultivo de milho. Em cada subparcela foram realizados, na profundidade 0 a 10 cm, quatro pontos de amostragem, posicionados perpendicularmente à linha de plantio. Em cada ponto foram realizados 7 furos com um trado holandês de 5 cm de diâmetro, sendo um furo na linha de plantio e 3 furos de cada lado, correspondentes ao espaçamento utilizado da cultura do milho (75 cm). Após a coleta, o solo foi homogeneizado em um saco plástico e as amostras transportadas para o laboratório e armazenadas em câmara fria a uma temperatura de 7 °C ± 3 °C até o momento da realização das análises.

A atividade da fosfatase ácida foi determinada de acordo com Tabatabai, (1994) através da quantificação colorimétrica do p-nitrofenol (coloração amarela) liberado por essa enzimas, quando o solo é incubado com o substrato p-nitrofenil fosfato. O teor de glomalina facilmente extraível do solo foi determinado usando o ensaio de Bradford, com as alterações propostas por Janos et al. (2008), para otimizar o processo de extração dessa glicoproteína. Resumidamente, a glomalina facilmente extraível (GFE) foi obtida a partir da adição de 8ml de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) a amostras de 1 g de solo e posterior autoclavagem a 121 °C por 30 minutos. A dosagem das proteínas extraídas foi feita pelo método

de Bradford (1976) utilizando soro albumina bovina como padrão.

O teor de matéria orgânica nas amostras de solo (MOS) também foi avaliado utilizando a oxidação por via úmida com dicromato de potássio em ácido sulfúrico, seguido de titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934).

Para as análises estatísticas, foi utilizado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + S_i + D_k + (SD)_{ik} + \text{Erro}_{ijk}$$
 onde: μ = média geral dos dados; B = bloco (j = 1,2,3); S = Sistema de manejo (i = 1,2,3); D = Dose de fósforo (k = 1,2,3); Erro = erro experimental.

A análise de variância foi feita utilizando o modelo misto de máxima verossimilhança restrita via PROC MIXED do SAS 9.1 e quando esta apontou significância o teste de hipótese de Student (t) (p < 0,05) foi utilizado para distinção das médias. Como a área de Cerrado não está incluída no delineamento experimental, calculou-se o desvio padrão (DP) dos resultados obtidos nessa área e considerou-se a sobreposição de ± 1 DP como evidência de diferenças entre a área nativa e as áreas cultivadas. Foram calculados coeficientes de correlação de Pearson (com as médias dos 9 tratamentos) entre a glomalina e a fosfatase ácida e entre esse parâmetros e a matéria orgânica do solo, utilizando o PROC CORR do SAS 9.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como não houve interação entre os sistemas de manejo e as doses de fósforo para nenhum dos atributos avaliados, na Tabela 1 são apresentadas apenas às médias de sistemas e doses de P.

Os maiores teores de glomalina e a maior atividade da enzima fosfatase ácida foram observados nas áreas de Cerrado Nativo (Tabela 1), o que está associado aos baixos teores de P desses solos. Esse resultado evidencia a importância da ciclagem do P orgânico pela ação das fosfatases, para o suprimento de P nesses ambientes (Conte et al., 2002; Matsuoka et al., 2003; Carneiro et al., 2004; Mendes & Reis Junior, 2004) e, no caso da glomalina, a importância do não revolvimento do solo, para a integridade dessa proteína (Borie et al., 2006), além do estímulo de sua produção em solos de baixa fertilidade (Rillig et al., 2003b e Wuest et al., 2005).

Na comparação dos teores de glomalina entre sistemas, o SPD milheto e SPD mucuna se diferenciaram estatisticamente do SPC milheto, este com o menor teor. Resultados semelhantes foram observados por Wright et al., 1999, Borie et al., 2006, Liebig et al., 2006 e Liang, 2010. O fato dos teores de glomalina serem inferiores no sistema de preparo convencional pode ser atribuído ao revolvimento do solo que acelera a decomposição da fração orgânica à qual a glomalina está estreitamente ligada (Rillig et al., 2003) e que também rompe o micélio fúngico, podendo diminuir a produção dessa glicoproteína.

A atividade da fosfatase ácida também diferiu entre os sistemas, tendo o SPD milheto apresentado o maior valor de atividade seguido pelo SPD mucuna e por

último o SPC milheto. A maior atividade da fosfatase ácida em ambos os sistemas de plantio direto também está relacionada à ausência de revolvimento do solo e ao maior acúmulo de matéria orgânica (Deng & Tabatabai, 1997; Mendes et al., 2003; Carneiro et al., 2004). Considerando que o tipo de vegetação, por meio da quantidade e qualidade de seus resíduos, influi na atividade enzimática do solo (Dick & Tabatabai, 1993), as maiores atividades da fosfatase ácida no SPD milheto em relação ao SPD mucuna, podem estar associadas à maior quantidade de resíduos aportados pelo milheto, conforme verificado por (Nunes et al. 2011, no prelo), estimulando a atividade dessa enzima.

As doses de fósforo (0, 50 e 100, kg ha⁻¹ de P₂O₅) não influenciaram os teores de glomalina e a atividade da fosfatase ácida, apesar da disponibilidade de P no solo desses tratamentos variarem de 3 a 13 mg dm⁻³ avaliada pelo método de Melich 1, interpretadas de muito baixo a alto (Sousa e Lobato, 2004; Nunes et al., 2011, no prelo). Resultados semelhantes foram observados na atividade da enzima fosfatase por Badalucco et al. (1992) e Conte et al., (2002) que atribuíram esse efeito à alta afinidade do P com os colóides minerais, principalmente com os óxidos de ferro e alumínio, que adsorvem este elemento, reduzindo o seu efeito inibidor sobre a atividade da fosfatase.

Os teores de MOS no SPD milheto e SPD mucuna foram semelhantes e superiores ao do SPC milheto. Os maiores teores de MOS no SPD em relação ao SPC devem-se, principalmente, ao fato de que o não revolvimento do solo promove uma redução da taxa de decomposição microbiana devido à manutenção da estrutura do solo no SPD, conferindo maior proteção física e química à MOS e dificultando ao acesso de microorganismos e suas enzimas (Burns, 1982; Hassink & Whitmore, 1997). Além disso, maior produção de biomassa radicular de milho (Costa et al., 2009) e menores perdas de MOS por erosão (Hernani et al., 1999) tem sido relatadas em SPD em relação ao SPC.

A adubação fosfatada por 12 anos com 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ promoveu acúmulo de MOS em relação ao tratamento que não foi adubado, independentemente do sistema de preparo e de culturas de cobertura, confirmando os efeitos benéficos da adubação fosfatada no acúmulo de MOS em solos de cerrado (Nunes et al., 2011, no prelo).

As variáveis fosfatase ácida e glomalina foram positivamente correlacionadas com a MOS (*r*: 0,77 e 0,76, significantes a 5% respectivamente) conforme também verificado por Wright et al., 1996; Dodor & Tabatabai, 2003 e Nichols & Wright, 2005, e entre si (*r* = 0,83, significativa a 2%). Isso indica que a atividade dessa enzima aumenta quando há o incremento do conteúdo de MOS enquanto a glomalina por ser um componente que contribui na formação de agregados, favorece na proteção da MOS, conseqüentemente aumentando o seu teor.

CONCLUSÕES

1. Os maiores teores de matéria orgânica, glomalina e a maior atividade da enzima fosfatase ácida foram observados nas áreas de Cerrado Nativo.

2. O SPD milheto e o SPD mucuna apresentaram teores de matéria orgânica, glomalina e de atividade da fosfatase ácida superiores aos do SPC milheto,

3. A adubação fosfatada nas áreas cultivadas não influenciou a glomalina e a fosfatase ácida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o CNPq e a equipe do laboratório de Microbiologia de Solos da Embrapa Cerrados: Clodoaldo Alves de Souza, Lucas Rolim e Osmar Teago de Oliveira. Trabalho financiado parcialmente pelo CNPq com recursos do Edital de Redes REPENSA, projeto “Uso de parâmetros microbiológicos como bioindicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade de agroecossistemas – FASE II”.

REFERÊNCIAS

- BADALUCCO, L.; GREGO, S.; DELL'ORCO, S., NANNIPIERI, P. Effect of liming on some chemical, biochemical, and microbiological properties of acid soils under spruce (*Picea abies* L.). *Biol. Fertil. Soils*, 14:76-83, 1992.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-23.
- BORIE F. et al., Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol, *Soil Till. Res.*, 88:253-261, 2006.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254, 1976.
- BURNS, R.G. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14:423-427, 1982.
- CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesq. Agropec. Bras.* 39:661-669, 2004.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:925-930, 2002.
- COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D. de.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; CAO, E.G.; HOLZSCHUH, M.J. Phosphorus and root distribution and corn growth related to long-term tillage systems and fertilizer placement. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1237-1247, 2009.
- DENG, S.P. & TABATABAI, M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertil. Soils*, 24: 141-146, 1997.
- DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F.B. (Ed.). *Soil microbial ecology applications in agricultural and environmental management*. New York: M. Dekker, 1993. p.95-127.

- DODOR, D.E. & TABATABAI, M.A. Effect of cropping systems on phosphatases in soils. *J. of Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 7-13, 2003.
- GONZALEZ-CHAVEZ, M.C.; CARRILLO-GONZALEZ, R.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 130:317-323, 2004.
- HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 6:131-139, 1997.
- HERNANI, L.C., KURIHARA, C.H., SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:145-154, 1999.
- JANOS, D.P.; GARAMSZEGLI, S.; BELTRAN, B. Glomalin extraction and measurement. *Soil Biol. Biochem.*, 40: 728-739, 2008.
- LIANG, W. J. Effect of Tillage Systems on Glomalin-Related Soil Protein in an Aquic Brown Soil. *Res. J. of Biotech.* vol. 5 (3), 2010.
- LIEBIG, M. L.; CARPENTER BOGGS, J.M.F.; JOHNSON, S. W.; BARBOUR, N. W. 2006. Cropping system effects on soil biological characteristic in the Great Plains. *Renew. Agric. Food Syst.* 21:36-48.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste- MT. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 425-433, 2003.
- MENDES, I. C. & REIS JUNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de Fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. Planaltina -DF: Embrapa Cerrados, 2003 (Documentos, 85).
- MENDES, I. C. & REIS JUNIOR, F. B. Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Planaltina -DF: Embrapa Cerrados, 2004 (Documentos, 112).
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:435-443, 2003.
- NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools. *Biol. and Fert. of Soils*, 43:215-220, 2006.
- NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. *Soil Science*, 170:985-997, 2005.
- NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; MENDES, I.C. Efeito de sistemas de manejo nos estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado cultivado com sucessão soja-milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 2011. No prelo.
- RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biol. Biochem.* 35:1257-1260, 2003b.
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein responds to landuse change. *Plant Soil* 253:293-299, 2003.
- SOUZA, D. M. G. de & LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação, 2. ed., Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2004. 416 p.
- TABATABAI, M.A.. Soil enzymes. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Inc. Madison: Sci. Soc. of Am. J. 1994. p. 778-833.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38, 1934.
- WRIGTH, S. F.; STARR, J.L.; PALTINEAU, I. C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1825-1829, 1999.
- WRIGTH, S.F., UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198:97-107, 1998.
- WRIGTH, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science* 161:575-586, 1996.
- WUEST, S. B.; CAESAR-TON THAT, T. C.; WRIGTH, S. F.; WILLIAMS, J. D. Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration biological and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. *Soil Till. Res.*, 84:154-167, 2005.

Tabela 1. Teores de glomalina, fosfatase ácida e matéria orgânica (MOS) em amostras de um Latossolo Vermelho sob vegetação nativa de cerrado e sob diferentes sistemas de manejo baseados em modo de preparo, cultura de cobertura e adubação fosfatada.

Tratamentos	Glomalina ¹	Fosfatase ²	MOS ³
Sistemas de Manejo			
SPD milheto	2,17a	1496a	31,2a
SPD mucuna	2,00a	1162b	30,7a
SPC milheto	1,67b	891c	26,3b
Doses de P			
0	1,87 ^{NS}	1130 ^{NS}	27,2b
50	1,99	1265	30,4a
100	1,97	1155	30,6a
Cerrado Nativo	3,49 (±0,14)	2146 (±187)	37,8 (±3,6)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Student (p < 0,05).

⁽¹⁾ mg g⁻¹ de solo; ⁽²⁾ µg p-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; ⁽³⁾ g/kg;

SPD= sistema de plantio direto; SPC= sistema de preparo convencional.

P0= 0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅; P50= 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ e P100= 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura.