

## **Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema plantio direto no Cerrado**

Rogério Ferreira da Silva<sup>1</sup>, Irzo Isaac Rosa Portilho<sup>2</sup>, Adriana Maria de Aquino<sup>3</sup>, Auro Akio Otsubo<sup>4</sup>, Anderson de Souza Gallo<sup>5</sup> e Maria de Fátima Guimarães<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Curso de Tecnologia em Agroecologia. Rua Rogério Luiz Rodrigues, s/n, CEP: 79730-000, Centro, Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária de Dourados, Rodovia Itahum, Km 12, s/n, CEP: 79804-970, Jardim Aeroporto, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>3</sup>Embrapa Agrobiologia, Rodovia BR-465, Km 7 - Ecologia, CEP: 23890-000, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>4</sup>Embrapa Agropecuária Oeste, Rodovia BR 163, Km 253,6, Caixa Postal: 449, CEP: 79804-970, Zona Rural, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>5</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rodovia BR 465, Km 07, s/n, CEP: 23890-000, Zona Rural, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>6</sup>Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Km 380, s/n, CEP: 86057-970, Campus Universitário, Londrina, Parana, Brasil.

E-mail autor correspondente: andersonsgallo@hotmail.com

Artigo enviado em 20/03/2017, aceito em 20/12/2017.

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema plantio direto (SPD), estabelecido há oito anos no Cerrado, sobre os atributos morfológicos, físicos e biológicos do solo. O experimento foi em Latossolo Vermelho distroférico típico. Foram avaliados os seguintes sistemas: monocultura com sistema convencional de preparo do solo, SPD com diferentes rotações de culturas (soja/nabo, soja/trigo e milho/aveia) e vegetação nativa. Em cada sistema, foi aberta uma trincheira com o intuito de detectar as modificações morfológicas provocadas pelos diferentes manejos com uso do método do perfil cultural. Os macroinvertebrados do solo foram avaliados conforme o método "Tropical Soil Biology and Fertility". Utilizaram-se, ainda, amostras de solo indeformadas para avaliação dos atributos físicos do solo. As melhores condições morfológicas do solo foram verificadas nas camadas mais superficiais do SPD, com presença abundante de bioporos e galerias em todo o perfil. A riqueza de macroinvertebrados aumenta com a melhor estruturação física do solo. Por outro lado, a maior densidade do solo reduz o número de indivíduos e ordens. O SPD conduzido em rotação (soja/nabo) favorece a biodiversidade e as funções ecológicas do solo, podendo ser uma estratégia promissora para sistemas de produção sustentáveis na região do Cerrado.

**Palavras-chave:** Diversidade, estrutura do solo, macrofauna de solo, perfil cultural.

**Joint analysis of soil physical and biological attributes under no-tillage system in the Cerrado**

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the effect of the no - tillage system (NTS), established eight years ago in the Cerrado, on the morphological, physical and biological attributes of the soil. The experiment was carried out in a typical dystroferric Red Latosol. The following systems were evaluated: monoculture with conventional soil preparation system, NTS with different crop rotations (soybean / turnip, soybean / wheat and corn / oats) and native vegetation. In each system, a trench was opened in order to detect the morphological changes caused by the different operations using the cultural profile method. Soil macroinvertebrates were evaluated according to the Tropical Soil Biology and Fertility method. Also, undisturbed soil samples were used to evaluate soil physical attributes. The best soil morphological conditions were verified in the more superficial layers of the NTS, with abundant presence of biopores and galleries throughout the profile. The richness of macroinvertebrates increases with the better physical structuring of the soil. On the other hand, higher soil density reduces the number of individuals and orders. Rotated NTS (soybean / turnip) favors biodiversity and ecological soil functions, and may be a promising strategy for sustainable production systems in the Cerrado region.

**Key words:** Diversity, soil structure, soil macrofauna, crop profile.

### Introdução

A substituição da cobertura vegetal, a adoção intensiva de mecanização, o uso de corretivos, fertilizantes, pesticidas e outras práticas de cultivo provocam ou aceleram alterações no conjunto de atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos do solo. Estes processos associados à degradação ambiental, tais como: redução da qualidade do solo, disponibilidade de nutrientes, erosão, contaminação por metais pesados e pesticidas, podem comprometer os recursos naturais (solo e água).

A grande questão contemporânea é saber como manter a produção agrícola sem comprometer os recursos naturais. Tal fato tem gerado preocupação e debate em todo mundo acerca da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ecossistemas naturais e dos sistemas que sofreram interferência humana (OLIVEIRA; SOUTO, 2011). Diante desta realidade, o sistema plantio direto (SPD) surgiu como um dos sistemas agrícolas mais conservacionistas, pela sua diversificação de espécies na

rotação/sucessão de culturas, mínima interferência no solo e manutenção dos resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo (COSTA et al., 2013).

Atualmente, o SPD abrange uma área de mais 30 milhões de hectares no Brasil, representando 60% da área de produção de grãos, sendo que cerca de 6 milhões de hectares dessa área está localizada na região do cerrado (FEBRAPDP, 2016). Segundo Mateus e Santos (2012), o SPD é considerado como o maior projeto ambiental dos trópicos em termos de extensão, sendo o Brasil, um país de destaque em termos de conservação e preservação ambiental pela adoção dessa técnica.

Neste sistema, as características físicas, químicas e biológicas do solo são afetadas diferentemente em relação ao sistema convencional, onde ocorre o preparo do solo com aração e gradagem e não há necessariamente rotação de culturas. São relatadas diferenças na retenção de umidade, oscilação térmica, distribuição de fósforo e matéria orgânica, teor de nitrogênio, alterações estruturais do solo e distribuição de

alguns organismos do solo (SILVA et al., 2011).

As condições mais adequadas de umidade e temperatura e a maior quantidade de matéria orgânica beneficiam a flora e a fauna do solo. Esses organismos desempenham importante papel na reciclagem de carbono e de nutrientes (AQUINO et al., 2008), na estabilidade dos agregados do solo, na porosidade, propiciando maior infiltração de água no perfil, redução da erosão e do escoamento superficial (SILVA et al., 2011). A fauna do solo também atua no transporte de resíduos culturais ao longo do perfil, formando "sítios de matéria orgânica", proporcionando melhorias no ambiente radicular das plantas (CARDOSO et al., 2013). Além disso, os canais abertos por esses organismos são caminhos potencialmente importantes nos movimentos descendentes da solução de solo, por exemplo, favorecendo o movimento descendente de  $\text{HCO}_2^-$  acompanhado de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , atenuando assim a acidez e aumentando os teores de cálcio e magnésio nas camadas subsuperficiais do solo (CIOTTA et al., 2004).

Os impactos do uso e manejo nas propriedades morfológicas, físicas e biológicas do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes parâmetros, tais como: perfil cultural (Silva et al., 2011), densidade e porosidade do solo, estabilidade de agregados (ROSSETTI et al., 2012, SILVA et al., 2014) e fauna do solo (AQUINO et al., 2008; SILVA et al., 2011). No entanto, ainda é necessário que, do ponto de vista da sustentabilidade, as interações das propriedades morfológicas, físicas e biológicas do solo, possam ser mais bem compreendidas, pois esses fatores combinados podem determinar a intensidade com que uma unidade de produção pode ser adequadamente manejada. Assim, este trabalho teve

como objetivo avaliar o efeito do sistema plantio direto (SPD), estabelecido há oito anos no Cerrado, sobre os atributos morfológicos, físicos e biológicos do solo.

### Material e métodos

O estudo foi realizado num experimento estabelecido na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS (22°14' 0"S e 54°49'00"W), em Latossolo Vermelho distroférrico típico, com 700 g kg<sup>-1</sup> de argila, em relevo plano com declividade até 3% (Amaral et al., 2000). O clima do local é classificado como Cwa (mesotérmico úmido, verão quente e inverno seco).

Os tratamentos foram dispostos em faixas sob dois sistemas de produção descritos a seguir. O sistema convencional (SC) de preparo do solo consistiu-se de cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no verão e de aveia (*Avena strigosa* Schreb) no outono/inverno. O solo foi preparado com grades de disco até 0,2 m de profundidade (uma gradagem pesada e duas gradagens médias) com a utilização de herbicida residual em pré-emergência numa área de 2,0 ha. O sistema plantio direto (SPD), com faixa subdividida em três partes de 2,8 ha, sendo duas ocupadas com soja e uma com milho (*Zea mays* L.), no verão, rotacionando-se com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia durante o outono/inverno (soja/nabo, soja/trigo e milho/aveia), de forma a conter as três fases da sucessão/rotação no mesmo momento. As culturas de trigo e aveia foram utilizadas para produção de grãos, enquanto o nabo forrageiro foi utilizado como adubo verde. Neste sistema foram empregados herbicidas pós-emergentes e outras tecnologias disponíveis para a região, visando obter elevados rendimentos de grãos e reduzir

as perdas do sistema. Dentre as culturas de inverno implantadas (aveia, trigo e nabo forrageiro) nos sistemas produtivos, apenas a cultura de trigo recebeu adubação no plantio, utilizando-se 250 kg/ha da fórmula 5-30-15 (NPK). Uma área adjacente com vegetação nativa de Cerrado (SN), com cerca de 5 ha foi incluída, como referencial da condição original do solo.

Em cada área, na fase inicial do florescimento das culturas de inverno, foi aberta uma trincheira de 2,0 m de comprimento por 1,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, perpendicular ao sentido da operação dos implementos, com vistas a detectar as modificações morfológicas provocadas pelos diferentes manejos, através do método do perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999).

Os macroinvertebrados do solo foram amostrados em cinco pontos equidistantes de 30 m em monólitos (0,25 x 0,25 m de largura e 0,3 m de profundidade) divididos em camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, conforme o método "Tropical Soil Biology and Fertility" (ANDERSON; INGRAM, 1993). Após a extração manual dos macroinvertebrados, procedeu-se à identificação e contagem de grandes grupos taxonômicos, que foram separados, conforme estágio de desenvolvimento, em adultos ou imaturos (larvas), com auxílio de lupa binocular. Os atributos do solo (Físicos e MO) foram coletados nos mesmos pontos onde foram retiradas amostras para a avaliação morfológica e biológicas do solo (camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m). Os atributos físicos (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade) e teor de matéria orgânica do solo (MO), foram analisados de acordo com Claessen (1997).

A caracterização dos macroinvertebrados foi realizada com

base na densidade (número de indivíduos por metro quadrado) e riqueza (número de grupos). Os dados de densidade de indivíduos, com base na sua heterogeneidade, foram transformados em  $(x + 0,5)^{0,5}$ .

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com uso do delineamento blocos casualizados, e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade, com uso do programa Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016). Além disso, foram realizadas duas ACPs (análise de componentes principais): comunidade de macroinvertebrados/sistemas de manejo e atributos físicos/sistemas de manejo. As análises dos componentes principais foram realizadas na plataforma R, através do software Vegan (OKSANEN et al., 2006). Utilizou-se o teste de coeficiente de correlação de Pearson para os dados referentes à composição de macroinvertebrados e atributos físicos do solo.

### Resultados e discussão

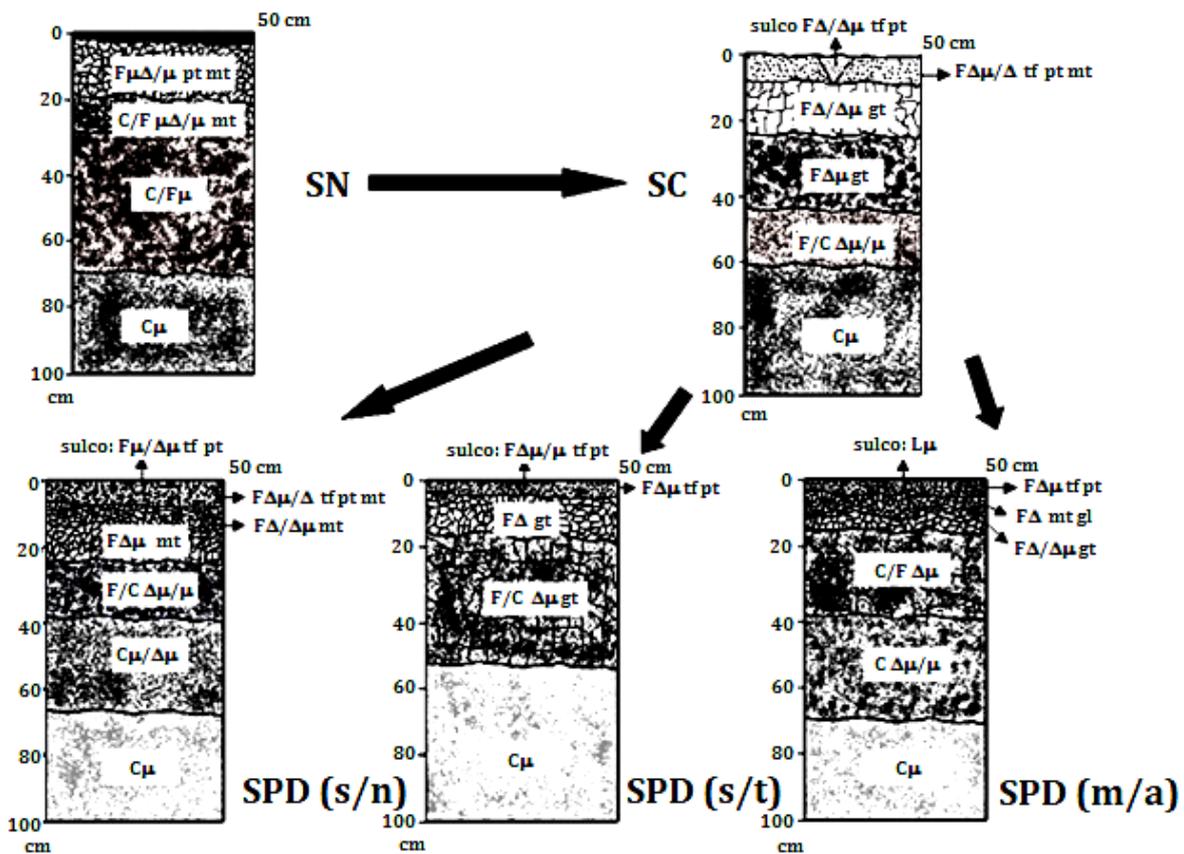
As estruturas morfológicas observadas no perfil cultural da vegetação nativa (SN) que caracterizam como essas estruturas estão distribuídas no ambiente antes do manejo, destacaram-se na camada 0,03-0,2 m, que mostrou um volume de solo ( $F\mu\Delta/\mu$ ) fissurado (F), formado por torrões subangulares médios (mt) e pequenos (pt), com alta porosidade interna visível ( $\mu$ ) e algumas porções em processo de compactação ( $\mu\Delta$ ), e alta atividade biológica, caracterizada pelo amontoamento de pequenos agregados (Figura 1). Na camada 0,2-0,3 m, as fissuras desaparecem, com volume maciço (C/F) composto por torrões médios.

No sistema de manejo convencional (SC), já se destaca a presença de camada compacta de 0,07 a

0,24 m, formada por grandes torrões compactos ( $\Delta$ ) e em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ), com tendência a formas prismáticas, com fissuras bem visíveis (F), e baixa atividade biológica. Essa estrutura compacta, com porções bem alisadas, que impede a penetração das raízes, é uma propriedade considerada como resultante negativa do uso intensivo de máquinas agrícolas no preparo do solo, também conhecido como "pé de grade". Essas alterações estruturais, por sua vez, promovem mudanças nos atributos físicos do solo a exemplo da porosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração de raízes (SILVA et al., 2014). Na camada 0,24 a 0,6 ainda mantém fortes características morfológicas da camada anterior (F/C  $\Delta\mu/\mu$ ), mas com presença de porosidade de amontoamento ( $\mu$ ).

Na descrição do perfil cultural sob a cultura de nabo forrageiro (soja/nabo), destaca-se na camada 0,0-

0,06 m volume de solo (F $\Delta\mu/\Delta$ ), formado por pequenos torrões (pt) em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ) e médio torrões (mt) compactos ( $\Delta$ ), e alguns grandes torrões (gt) de forma laminar, provavelmente, resultante do efeito cumulativo do tráfego de máquinas agrícolas e acomodação natural das partículas sólidas. Na camada seguinte (0,06 a 0,26 m), verificou-se um volume de solo (F $\Delta/\Delta\mu$ ), com fissuras (F), formado por médios torrões com tendência a blocos compactos ( $\Delta$ ) e em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ), com porosidade visível e alta atividade biológica. Nessa camada, as raízes ocupam os bioporos e os pontos de ruptura e fissuras dos torrões, com presença de grande quantidade de hifas. Na sequência (0,26 a 0,4 m), observa-se volume F/C, formado por grandes torrões rugosos (gt) e de agregados menores em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ).



**Figura 1.** Representação esquemática das diferentes organizações dos perfis culturais, sob vegetação nativa (SN), sistema convencional (SC) e sistema plantio direto (SPD) com diferentes sucessões/rotações de culturas: soja/nabo (s/n), soja/trigo (s/t) e milho/aveia (m/a). As setas indicam as modificações observadas a partir da vegetação nativa. L, volume de solo solto, poroso, constituído de torrões de tamanhos variados; F, volume de solo formado de agregados separados por uma rede de fissuras; C, volume de solo contínuo, que não se distinguem agregados;  $\mu$ , torrões com forte porosidade interna, principalmente arredondada;  $\Delta$ , torrões compactos, com baixa ou nenhuma porosidade visível;  $\mu\Delta$  e  $\Delta\mu$ , porosidade interna dos torrões intermediária; Z $\Delta$ , camada laminar compacta; tf, terra fina; mt, médios torrões; gt, grandes torrões; pt, pequenos torrões resultantes de atividade biológica; Bw, horizonte encontrado nos Latossolos (C $\mu$ ).

Já o perfil cultural das áreas com as culturas de trigo (soja/trigo) e aveia (milho/aveia) apresentaram-se semelhantes morfologicamente, com camada de 0,0 a 0,06 m ocupada pelo volume de solo (F $\Delta\mu$ ) composto por pequenos torrões rugosos (pt) em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ). Na zona de tráfego de máquinas agrícolas é visível a presença de estruturas laminares compactas. Na camada seguinte (0,06 a 0,14 m), verifica-se o volume F $\Delta$ , com base bem definida, formado por grandes torrões fissurados (F), com tendência de se soltarem horizontalmente em blocos retangulares compactos ( $\Delta$ ), com algumas porções com porosidade visível ( $\mu$ ) e alta atividade minhocas, evidenciado pelo amontoamento de pequenos agregados e pela presença de coprólitos. Na sequência desse volume (0,14 a 0,52), observa-se um volume F/C formado por grandes torrões (gt) de forma prismática, fissurados, rugosos e agregados em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ), e presença de bioporos (3 cm  $\varnothing$ ). Nas três áreas avaliadas sob SPD notou-se a presença de canais biológicos de vários tamanhos em todo perfil, formada por ação de macroinvertebrados do solo, que favorecem a penetração das raízes, infiltração de água, difusão de gases e

produção de culturas (SILVA et al., 2011).

Na vegetação nativa (SN) observou-se a menor Ds ( $p < 0,05$ ) em relação aos sistemas de produção nas três camadas de solo avaliadas (Tabela 1). Os valores de Ds mativeram-se similares em todas as camadas de solo avaliadas, possivelmente devido ao maior aporte de matéria orgânica (SILVA et al., 2014). Dentre os sistemas de produção, na camada 0-10 cm, os três sistemas com plantio direto apresentaram valores de Ds significativamente semelhantes; porém apenas o SPD (soja/trigo) foi significativamente superior ao sistema com preparo convencional (SC).

Embora fosse esperado que o SPD, em decorrência da compactação do solo pelo tráfego cumulativo de máquinas e implementos, associado à reduzida movimentação do solo e, ainda pela acomodação natural das partículas, determinasse maior DS que o SC, conforme encontrado por outros autores (TORMENA et al., 2004;), observou-se, nesse trabalho, influência do SPD na rotação soja/trigo, indicando a importância também da qualidade do aporte de matéria orgânica. Enquanto que no SC os menores valores de Ds podem ser atribuídos ao revolvimento do solo e a incorporação dos resíduos

culturais executados antes da semeadura das culturas, corroborando os resultados obtidos por Bertol et al. (2004), Spera et al. (2004) e Tormena et al. (2004).

Os resultados da avaliação da porosidade do solo, expressos em valores de macro, micro e porosidade total foram apresentados na Tabela 1. Em relação a esses atributos não ocorreram diferenças entre os sistemas de produção. Observa-se apenas a tendência do SPD (soja/nabo, soja/trigo e milho/aveia), principalmente na camada 0-10 cm, apresentarem menores valores de macroporosidade e VTP em relação ao SC, indicando que sistemas

com menor mobilização do solo e movimentação intensa de máquinas e implementos agrícolas, além de reduzir a porosidade total, mudam a distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho, como atestam os resultados obtidos por Bertol et al. (2004) e Spera et al. (2004). Já a microporosidade, segundo Silva e Kay (1997), é fortemente influenciada pela textura e teor de matéria orgânica e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originado do tráfego de máquinas e implementos.

**Tabela 1** - Caracterização física de solo sob sistema convencional (SC), sistema plantio direto (SPD) e vegetação nativa (SN), Dourados-MS.

Manejo	Ds	Macroporosidade	Microporosidade	VTP
	Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
----- 0-10 cm -----				
SC	1,31 b	0,151 ab	0,420 a	0,571 ab
SPD (soja/nabo) <sup>1</sup>	1,45 ab	0,105 b	0,416 a	0,521 b
SPD (soja/trigo) <sup>2</sup>	1,47 a	0,109 b	0,420 a	0,530 b
SPD (milho/aveia) <sup>3</sup>	1,42 ab	0,123 ab	0,418 a	0,541 b
SN	1,17 c	0,183 a	0,444 a	0,627 a
----- 10-20 cm -----				
SC	1,42 a	0,106 b	0,421 bc	0,526 b
SPD (soja/nabo)	1,47 a	0,101 b	0,410 c	0,512 b
SPD (soja/trigo)	1,47 a	0,109 b	0,425 bc	0,534 b
SPD (milho/aveia)	1,46 a	0,089 b	0,433 ab	0,522 b
SN	1,18 b	0,176 a	0,442 a	0,617 a
----- 20-30 cm -----				
SC	1,47 a	0,096 b	0,426 ab	0,523 b
SPD (soja/nabo)	1,50 a	0,104 b	0,412 b	0,516 b
SPD (soja/trigo)	1,53 a	0,089 b	0,441 a	0,530 b
SPD (milho/aveia)	1,47 a	0,085 b	0,440 a	0,524 b
SN	1,18 b	0,166 a	0,431 ab	0,597 a

<sup>1</sup>SPD (soja/nabo): nabo cultivado em sucessão a soja; <sup>2</sup>SPD (soja/trigo): trigo cultivado em sucessão a soja; <sup>3</sup>SPD (milho/aveia): aveia cultivada em sucessão a milho, VTP: Volume Total de Poros. Médias grafadas com letras diferentes, na mesma coluna, contrastam pelo teste de Duncan, a 5%.

A macrofauna invertebrada do solo respondeu de maneira diferenciada ao preparo do solo e ao tipo de sucessão,

conforme os resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Macrofauna invertebrada do solo sob sistema convencional (SC), sistema plantio direto (SPD) e vegetação nativa (SN), Dourados-MS.

Manejo	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Total	Riqueza
	----- Densidade (nº ind m <sup>-2</sup> ) -----				N.º de grupos
SC	99 b	35 b	16 b	150 b	6 c
SPD (soja/nabo) <sup>1</sup>	691 a	147 a	211 a	1049 a	12 b
SPD (soja/trigo) <sup>2</sup>	170 b	118 a	154 a	442 ab	11 b
SPD (milho/aveia) <sup>3</sup>	115 b	51 b	3 b	169 b	10 b
SN	797 a	410 a	54 ab	1261 a	19 a

<sup>1</sup>SPD (soja/nabo): nabo cultivado em sucessão a soja; <sup>2</sup>SPD (soja/trigo): trigo cultivado em sucessão a soja; <sup>3</sup>SPD (milho/aveia): aveia cultivada em sucessão a milho. Médias grafadas com letras diferentes, na mesma coluna, contrastam pelo teste de Duncan, a 5%.

A maior presença dos organismos da macrofauna invertebrada do solo, expressos em valores de densidade de indivíduos, encontraram-se na camada de 0-10 cm, onde são mais intensos os processos de transformação da matéria orgânica. Resultados semelhantes foram obtidos por Pashanasi (2001) em diferentes sistemas de uso de solo; Mwangi et al. (2004) e Pauli et al. (2011) em sistema agroflorestal; Klenk et al. (2014) em pastagem cultivada; Merlim et al. (2005) em cultivo do figo e Medina et al. (2011) em sistemas silvipastoris. Nessa camada, os sistemas SN e SPD (soja/nabo) apresentaram maiores valores de densidade de macrofauna, diferindo dos demais sistemas avaliados. Nas camadas 10-20 e 20-30 cm, os maiores valores ( $p < 0,05$ ) foram observados nos sistemas SN, SPD (soja/nabo) e SPD (soja/trigo) em comparação aos sistemas SC e SPD (milho/aveia).

Em relação à densidade total, observa-se que, os sistemas SPD (soja/nabo) e a vegetação nativa (SN) foram similares. Provavelmente devido ao menor distúrbio mecânico ao habitat e aos resíduos remanescentes da cultura anterior, principalmente quando há maior aporte de nitrogênio. Estas respostas se relacionam principalmente com as modificações da cobertura vegetal, que determinam diretamente a

quantidade e qualidade do recurso orgânico disponível (SILVA et al., 2011).

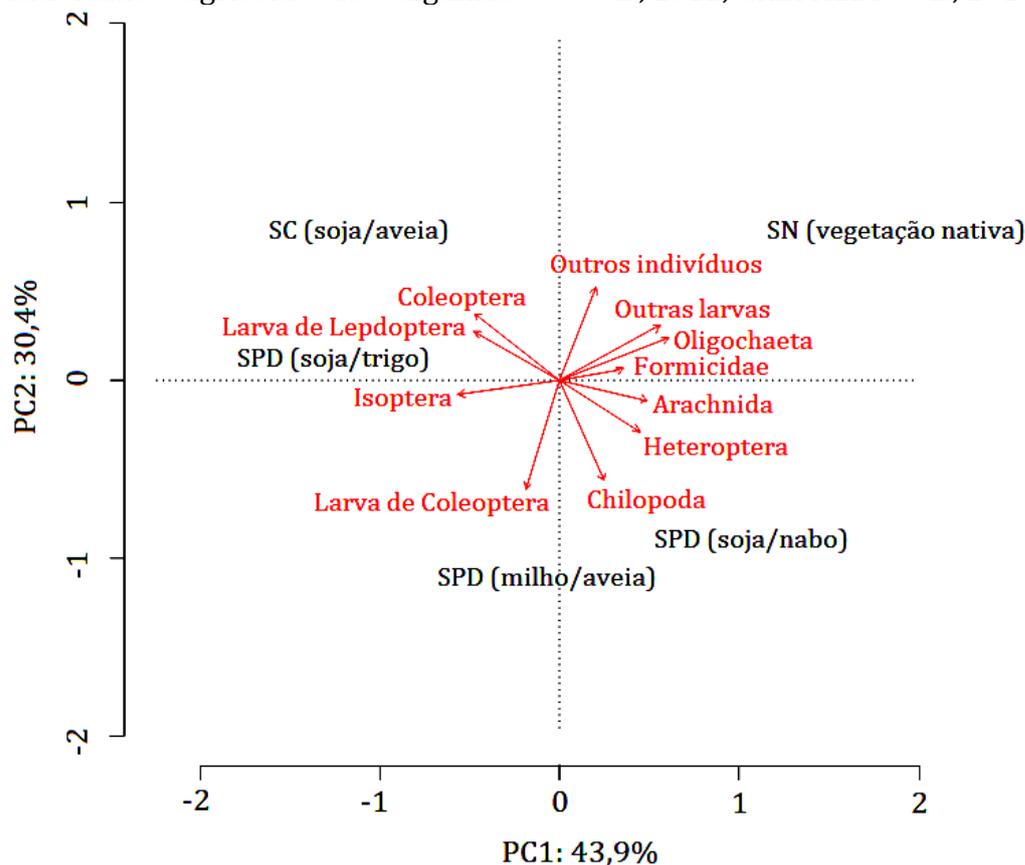
Considerando a riqueza (n.º de grupos) da macrofauna invertebrada do solo na camada 0-30 cm é possível verificar que o sistema natural (SN) apresenta uma grande riqueza de grupos, seguido pelo sistema plantio direto (soja/nabo, soja/trigo e milho/aveia) e por último o sistema com preparo convencional. O SPD, geralmente comporta mais grupos de macroinvertebrados edáficos que o sistema convencional, devido aos recursos alimentares disponíveis, a estrutura do microhabitat gerado e mudanças menos drásticas de temperatura e umidade (SANTOS et al., 2008).

Na ACP, a soma da variabilidade retida nos componentes explicou 74,3% da variabilidade original dos dados no biplot (Figura 2) referente à composição da comunidade de macroinvertebrados solo conforme o uso e manejo agropecuário, em que CP1 e CP2 retêm 43,9 e 30,4%, respectivamente, das informações originais dos dados.

A vegetação nativa (SN) favoreceu a manutenção dos macroinvertebrados do solo (Figura 2), podendo-se destacar as formigas (Formicidae), que apresentam grande diversidade de espécies. Além das formigas, nota-se a abundância de

minhocas (Oligochaeta) no sistema SN, que exerce diversas funções nos ecossistemas naturais (abertura de canais no solo e mistura de matéria orgânica com minerais no solo), e a sua presença no solo de sistemas de produção pode aumentar a produtividade agrícola de algumas

culturas (VAN GROENIGEN et al., 2014). Estas ordens (Formicidae e Oligochaeta) por apresentarem grande complexidade estrutural e sensibilidade às mudanças do ambiente têm sido utilizadas como bioindicadoras da qualidade de sistemas naturais e agropecuários (PULLEMAN et al., 2012; CREPALDI et al., 2014).



**Figura 2.** Biplot da composição de macroinvertebrados do solo em diferentes sistemas de manejo. CP1 e CP2, componentes principais 1 e 2, respectivamente. SPD (soja/nabo): nabo cultivado em sucessão a soja; SPD (soja/trigo): trigo cultivado em sucessão a soja; SPD (milho/aveia): aveia cultivada em sucessão a milho; SC (soja/aveia): soja cultivada em sucessão a aveia.

Entre os sistemas de manejo (Figura 2) o sistema convencional com rotação soja/aveia e o sistema SPD com rotação milho/aveia apresentaram os maiores valores da ordem Coleoptera. Algumas famílias desta ordem podem ser consideradas pragas na agricultura, no entanto, principalmente na fase larval podem trazer benefícios para os processos do solo (CORREIA; OLIVEIRA,

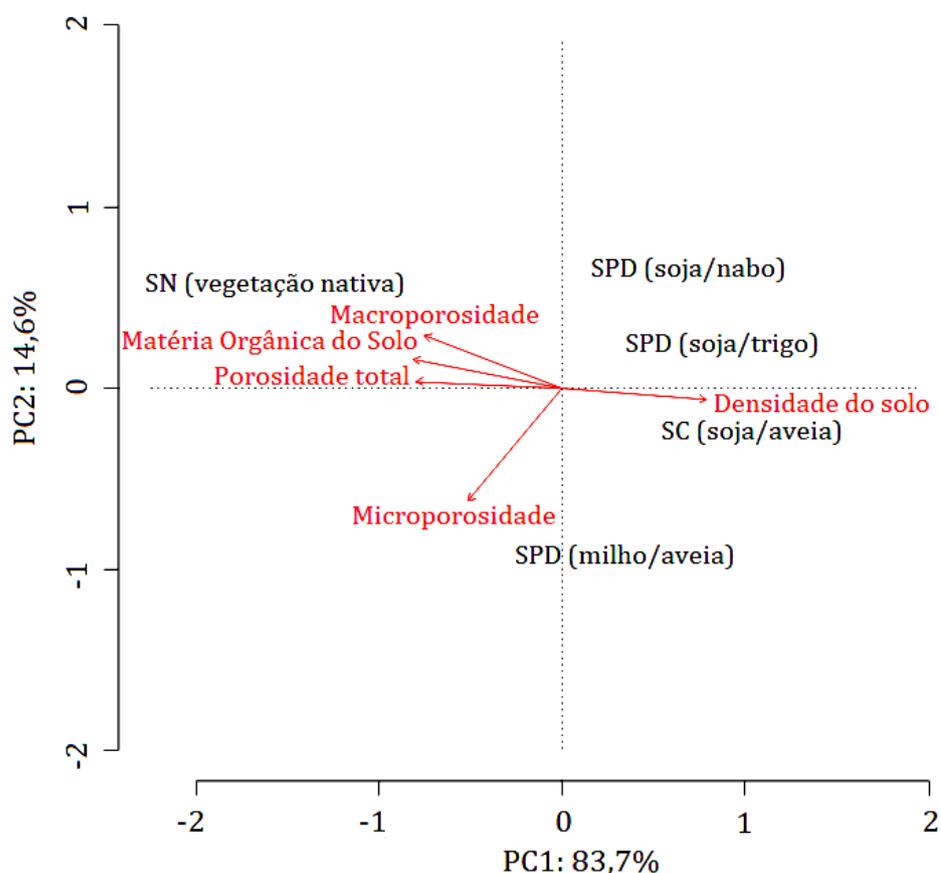
2005). Já na rotação soja/trigo sob SPD, a ordem isoptera teve destaque. Em outros estudos a maior abundância da ordem isoptera tem sido observada sob manejo convencional ou em áreas de pastagem cultivada continuamente, mantidos por longos períodos (PORTILHO et al., 2011).

O sistema SPD com rotação soja/nabo favoreceu a maior

biodiversidade de macroinvertebrados do solo entre os sistemas de manejo avaliados (Figura 2). Nota-se maior abundância das ordens Arachnida, Heteroptera e Chilopoda e riqueza próxima ao sistema nativo (SN). Estes organismos são importantes na manutenção de processos ecológicos do solo, podendo destacar a ordem Arachnida, que são consideradas predadoras e, em geral, alimentam-se de insetos. Com base nos resultados do biplot (Figura 2) nota-se que o uso e manejo adotados no solo influenciam a

comunidade de macroinvertebrados; por modificarem a quantidade e diversidade de resíduos vegetais no solo e, conseqüentemente, alterar os habitats, disponibilidade de alimento e diversidade da fauna invertebrada do solo (CORDEIRO et al., 2004; PORTILHO et al., 2011).

No biplot da Figura 3, os diferentes sistemas avaliados influenciaram nas variáveis físicas do solo.



**Figura 3.** Biplot dos atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo. CP1 e CP2, componentes principais 1 e 2, respectivamente. SPD (soja/nabo): nabo cultivado em sucessão a soja; SPD (soja/trigo): trigo cultivado em sucessão a soja; SPD (milho/aveia): aveia cultivada em sucessão a milho; SC (soja/aveia): soja cultivada em sucessão a aveia.

A soma da variabilidade retida nos componentes explicou 98,3% da

variabilidade original, em que CP1 e CP2 retêm 83,7 e 14,6%, respectivamente,

das informações originais dos dados. Nota-se que o sistema natural (SN) além de favorecer a manutenção dos macroinvertebrados do solo, contribui nos valores de matéria orgânica, macroporosidade e porosidade total do solo. Este resultado pode estar relacionado à maior cobertura vegetal do solo em sistemas naturais, bem como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, que tendem a aumentar o teor de substâncias orgânicas no solo (BELO et al., 2012), proporcionando maior agregação das partículas. Por outro lado, o sistema convecional (SC) reduziu a macroporosidade do solo e teve correlação com a maior densidade do solo. Sistemas de manejo com valores críticos de macroporos, compromete a

estrutura do solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das culturas (OLIVEIRA et al., 2007) e pode afetar diretamente a estabilidade do ambiente do solo (SALTON et al., 2008).

A dinâmica de interação de parâmetros do solo (físicos, químicos e biológicos) tem sido alvo de discussões de diferentes tipos de solos sob sistemas de produção agrícola e pecuária, principalmente, a correlação da matéria orgânica e atributos físicos do solo sobre a comunidade de macroinvertebrados do solo (ANGHINONI et al., 2013, SILVA et al., 2009). Na presente pesquisa a matéria orgânica do solo (MO) apresentou correlação significativa ( $p < 0,05$ ) com a maior parte dos grupos identificados (Tabela 3).

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os atributos físicos e macroinvertebrados do solo.

Cor.	Ar	Het.	Col.	Chi.	Oli.	For.	Iso.	L.C	L.L	O.L.
DS.	0,5	0,57	0,59	0,52	0,57	0,57	0,57	0,57	-0,16	0,87*
Mac	-0,77	-0,71	-0,50	0,65	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,20	-0,88*
Mic.	0,77	0,71	0,50	0,65	0,71	0,71	0,71	0,71	-0,20	0,88*
VTP	0,77	0,71	0,50	0,65	0,71	0,71	0,71	0,71	0,20	-0,88*
MO	0,85*	1,00*	0,91*	0,84*	1,00*	1,00*	1,00*	1,00*	0,55	0,53

\*Significativo a 5% de probabilidade. Correl.: Correlação; Ara.: Arachnida; Het.: Heteroptera; Col.: Coleoptera; Chi.: Chilopoda; Oli.: Oligochaeta; For.: Formicidae; Iso.: Isoptera; L.C.: Larva de Coleoptera; L.L.: Larva de Lepdoptera; O.L.: Outras Larvas; DS.: Densidade do solo; Mac.: Macroporosidade; Mic.: Microporosidade; VTP.: Porosidade Total do Solo; MO: Matéria Orgânica do Solo.

O equilíbrio da matéria orgânica do solo (MO) e a biodiversidade são de fundamental importância para a manutenção da produtividade do ecossistema (LAVELLE; SPAIN, 2001). Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo, e um novo equilíbrio é atingido num nível que varia em razão das características do sistema de manejo de sistema adotado (STEVENSON, 1994).

Os parâmetros físicos do solo (densidade, macroporosidade,

microporosidade e porosidade total) influenciaram principalmente a fase larval dos organismos do solo (Tabela 3). Os resultados mostram o sistema SC com a menor riqueza de organismos do solo (Tabela 2) e forte correlação com a densidade do solo (Figura 3), permitindo a interpretação de que a densidade do solo tem uma correlação negativa com a comunidade de macroinvertebrados (Tabela 3), reduzindo a diversidade de organismos conforme ocorrem maiores valores de

densidade. Por outro lado, os sistemas com maiores valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total favorecem a manutenção da comunidade de macroinvertebrados do solo (Figura 2, 3 e Tabela 3). À medida que o solo vai sendo submetido a diferentes rotações/sucessões de culturas em SPD, as propriedades físicas e biológicas sofrem alterações. Isto pode ser justificado pelas diferenças intrínsecas das culturas relacionadas com as exigências nutricionais, profundidade das raízes, quantidade e qualidade de resíduos que adicionam sobre a superfície (ROSSETTI et al., 2012). Siqueira Neto et al. (2009) e Silva et al. (2011) indicam a essencialidade da rotação de culturas para o aumento da qualidade da matéria orgânica, pois é de grande importância a escolha do sistema mais adequado para a melhoria da qualidade do solo e da produção agrícola.

### Conclusões

1. A rotação/sucessão de culturas em SPD intensifica a formação da comunidade da fauna invertebrada do solo e propriedades físicas do solo específicas, contribuindo para a manutenção da qualidade do solo sob sistemas de produção agrícola.
2. O sistema plantio direto recuperou as condições dos atributos morfológicos do solo nas camadas superficiais, com maior número de bioposos e galerias em todo o perfil, resultante da ação da macrofauna edáfica.
3. O SPD (soja/nabo) favorece a biodiversidade e as funções ecológicas do solo, podendo ser uma estratégia promissora para sistemas de produção sustentáveis na região do Cerrado.

### Referências

- AMARAL, J.A.M.; MOTCHI, E.P.; OLIVEIRA, H.; CARVALHO FILHO, A.; NAIME, U.J.; SANTOS, R.D. **Levantamento semidetalhado dos solos do campo experimental de Dourados, da Embrapa Agropecuária Oeste, Município de Dourados, MS.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 68 p.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** 2<sup>a</sup> ed. Wallingford: CAB, 1993. 221 p.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. & COSTA S.E.V.G.A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, n.1, p.325-380, 2013.
- AQUINO, A.M.; SILVA, R.F.; MERCANTE, F.M.; CORREIA, M.E.F.; GUIMARÃES, M. DE F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v.44, n.2, p.191-197, 2008.
- BELO, E.S.; TERRA, F.D.; ROTTA, L.R.; VILELA, L.A.; PAULINO, H.B.; SOUSA, E.D.; VILELA, L.A.F.; CARNEIRO, M.A.C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Science and Technology**, v.5, n.3, p.107-116, 2012.
- BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas

comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

CARDOSO, E.J.B.N.; VASCONCELLOS, R.L.F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M.Y.H.; SANTOS, C.A. DOS; ALVES, P.R.L.; PAULA, A.M. de; NAKATANI, A.S.; PEREIRA, J. DE M.; NOGUEIRA, M.A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v.70, n.4, p.274-289, 2013.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.317-326, 2004.

Claessen, M.E.C. (Org.) **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212 p.

CORDEIRO, F.C.; DIAS, F. de C.; MERLIM, A. de O.; CORREIA, M.E.F.; AQUINO, A.M. de; BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v.24, n.2. p.29-34, 2004.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.77-99.

COSTA, E.M.; SILVA, H.F.; RIBEIRO, P.R.A. Matéria orgânica do solo e o seu papel

na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.142-186, 2013.

CREPALDI, R.A.; PORTILHO, I.I.R.; SILVESTRE, R.; MERCANTE, F.M. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.781-787, 2014.

FEBRAPDP. FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução do plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>. Acesso em: 20 out. 2016.

KLENK, L. A.; ZAEDANEACK, M.A.C.; MOTTA, A.C.V.; CONSALTER, R.; RICHETER, A.S.; BORGES, E. Macrofauna invertebrada edáfica em pastagem sul brasileira sob diferentes preparos orgânicos. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.3, p.339-348, 2014.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil Ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 654 p.

MATEUS, G.P.; SANTOS, N.C.B. Sistema plantio direto e a conservação dos recursos naturais. **Pesquisa & Tecnologia**, v.9, n.2, p.2-5, 2012.

MEDINA, M.G.; GARCÍA, D.E.; MORATINOS, P.; CLAVERO, T.; IGLESIAS, J.M. Macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con *Morus alba*, *Leucaena leucophala* y pastos. **Zootecnia Tropical**, v.29, n.3, p.301-311, 2011.

MERLIM, A.O.; GUERRA, J.G.M.; JUNQUEIRA, R.M.; AQUINO, A.M. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v.62, n.1, p.57-61, 2005.

- MWANGI, M.; MUGENDI, O.N.; KUNG'U, J. SWIFT, M.J.; ALBRECHT, A. Soil invertebrate macrofauna composition within agroforestry and forested ecosystems and their role in litter decomposition in Embu, Kenya. In: BATIONO, A. (ed.). **Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in sub-Saharan Africa**. Nairobi: Academy Science Publishers, 2004. p.447-466.
- OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B. **Community ecology package**: vegan. Version 1.8.1. 2006.
- OLIVEIRA, E.M.; SOUTO, J.S. Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas. **Revista Verde**, v.6, n.1, p.1-9, 2011.
- OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; MELLO, C.R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.265-270, 2007.
- PASHANASI, B. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. **Folia Amazónica**, v.12, n.1, p.75-97, 2001.
- PAULI, N.; BARRIOS, E.; A.J. CONACHER, A.J. & OBERTHÜR, T. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch Agroforestry System, western Honduras. **Applied Soil Ecology**, v.47, n.2, p.119-132, 2011.
- PORTILHO, I.I.R.; CREPALDI, R.A.; BORGES, C.D.; SILVA, R.F.; SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1310-1320, 2011.
- PULLEMAN, M.; CREAMER, R.; HAMER, U.; HELDER, J.; PELOSI, C.; PÉRES, G.; RUTGERS, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services— an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.4, n.5, p.529-538, 2012.
- ROSSETTI, K.V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F.; MATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.426-432, 2012.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregados e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.
- SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BALBINO, L.C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.3, p.877-883, 1997.
- SILVA, F.A.Z.; AZEVEDO, C.A.V. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. **African Journal Agricultural Research**, v.11, n.37, p.3527-3531,

2016.

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.613-620, 2009.

SILVA, R.F.; GUIMARÃES, M.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.6, p.1277-1283, 2011.

SILVA, R.L.; MATIAS, S.S.R.; LOBATO, M.G.R.; NÓBREGA, J.C.A. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região sul do Piauí. **Caatinga**, v.27, n.3, p.160-168, 2014.

SIQUEIRA NETO, M.; FILHO, S.P.V.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.1013-1022, 2009.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.533-542, 2004.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. 512p.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C. & NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliações do

estado físico dos solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.393-399, 1999.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.65-71, 2004.

VAN GROENIGEN, J.W.; LUBBERS, I.M.; VOS, H.M.J.; BROWN, G.G.; DE DEYN, G.B.; GROENIGEN, K.J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. **Scientific Reports**, v.4, n.1, p.1-7, 2014.