

Comissão 2.4 - Química do solo

FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL E MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA⁽¹⁾

Itaynara Batista⁽²⁾, Maria Elizabeth Fernandes Correia⁽³⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽⁴⁾, Wanderlei Bieluczyk⁽⁵⁾, Jolimar Antonio Schiavo⁽⁶⁾ & Janaína Ribeiro Costa Rouws⁽³⁾

RESUMO

O crescente nível de degradação das terras tem promovido a adoção de manejos agrícolas que busque aliar a produção agropecuária à conservação do solo. Entre esses, a prática da Integração Lavoura-Pecuária (ILP) tem intensificado-se no Centro-Oeste brasileiro. Com o objetivo de avaliar o efeito em longo prazo do sistema ILP e da sazonalidade, sob a comunidade da macrofauna edáfica e das frações oxidáveis do carbono orgânico total (COT) em áreas de cultivo e Cerradão, foi desenvolvido na Fazenda Cabeceira no município de Maracaju, MS, um estudo em que se mensurou a influência da ILP sobre as frações oxidáveis do COT e sobre a macrofauna edáfica. O sistema ILP está sendo utilizado nessa área desde 2003; o solo foi identificado como Latossolo Vermelho, localizado em área de relevo plano. As áreas amostradas possuem o seguinte histórico: soja/milho + braquiária/algodão/aveia + pastagem/soja/formação da pastagem/pastagem; as amostragens foram realizadas na época seca, em que as culturas presentes eram pasto, milho+braquiária e algodão; e na chuvosa, com milho+braquiária, algodão e soja. Assim, as áreas nas duas épocas de avaliação foram: pasto/milho, milho+braquiária/algodão, algodão/soja e uma área nativa de Cerradão. A amostragem foi realizada nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, sendo feitas as seguintes determinações: análise da macrofauna edáfica, fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) e frações oxidáveis do COT. As áreas não apresentavam delineamento

⁽¹⁾ Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Financiado com recursos do CNPq. Recebido para publicação em 23 de abril de 2013 e aprovado em 17 de janeiro de 2014.

⁽²⁾ Doutoranda em Agronomia-Agricultura, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780. CEP 18610-307 Botucatu (SP). E-mail: itaynarabatista@yahoo.com.br

⁽³⁾ Pesquisadora, Embrapa Agrobiologia. BR 465, km 7. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: ecorreia@cnpab.embrapa.br, janaina@cnpab.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado IV, Departamento de Solos, Instituto de Agronomia, UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq e da FAPERJ. E-mail: gervasio@ufrj.br

⁽⁵⁾ Discente do curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, UFRRJ. E-mail: polacowb@hotmail.com

⁽⁶⁾ Professor Adjunto IV, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS. Rod. Aquidauana, km 12. CEP 79200-000 Aquidauana (MS). E-mail: schiavo@uems.br

experimental, sendo este um estudo de observação. Os dados foram comparados pelo teste de Kruskal Wallis a 5 % e por meio da análise de redundância. A compartimentalização da MOS pode ser utilizada para a avaliação da qualidade do manejo, sendo os compartimentos mais sensíveis as frações F1 e F2 de frações oxidáveis, pois são mais lábeis no solo, já as frações F3 e F4 são as mais recalcitrantes. Isoptera (cupim) pode estar atuando como agente humificador da matéria orgânica na área de Cerradão, contribuindo para maiores teores de F3 e F4, em relação à F1 e F2 na época seca. Esse padrão somente foi verificado na área de Cerradão, visto que nas áreas de produção, Isoptera é controlado pelo manejo. A falta desse inseto no sistema ILP pode estar reduzindo a estabilização da MOS nas frações F3 e F4.

Termos para indexação: matéria orgânica, sazonalidade, manejo, invertebrados.

SUMMARY: OXIDIZABLE FRACTIONS OF TOTAL ORGANIC CARBON AND SOIL MACROFAUNA IN A CROP-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM

The increasing level of land degradation has led to the adoption of agricultural management practices that seek to combine agricultural production and soil conservation. Among these, the practice of Crop-Livestock Integration (CLI) has intensified in West-Central Brazil. In order to assess the long-term effect of the CLI system and seasonality on the community of soil macrofauna and oxidizable fractions of total organic C in croplands and the Cerradão (Brazilian tropical savanna), a study was developed at the Cabeceira Farm in the municipality of Maracaju, State of Mato Grosso do Sul, which measured the effect of CLI on oxidizable fractions of total organic C and soil macrofauna. The CLI system has been used in this area since 2003. The soil was identified as a Latossolo Vermelho (Ferrasol), on flat land. The areas sampled have the following history of use: soybean/corn + brachiaria grass/cotton/oat + pasture/soybean/implantation of pasture/pasture. Sampling was carried out in two seasons, dry and wet. In the dry season, the crops were pasture, corn+brachiaria grass and cotton; in the rainy season there were corn+brachiaria grass, cotton, and soybeans. Thus, the areas in the two evaluation periods were pasture/corn, corn+brachiaria/cotton, cotton/soybeans, and an area of native Cerrado. Sampling was performed at the depths of 0-10, 10-20, and 20-30 cm, and the following determinations were made: analysis of soil macrofauna, particle size fractionation of soil organic matter (SOM), and oxidizable fractions of total organic C. The areas do not have an experimental design as this is an observational study. Data were compared by the Kruskal Wallis test at 5 % probability and through analysis of redundancy. Compartmentalization of SOM can be used to assess the quality of management, with the most sensitive compartments being the F1 and F2 fractions in the assessment of oxidizable fractions. These fractions are more labile in the soil, whereas the F3 and F4 fractions are more recalcitrant. Isoptera (termites) may be acting as a wetting agent of organic matter in the Cerrado area, contributing to higher levels of F3 and F4, compared to F1 and F2, in the dry season. This pattern was only observed in the Cerrado area since in the production areas, Isoptera is controlled by management practices. The lack of these insects in the CLI system may be reducing the stabilization of SOM in the F3 and F4 fractions.

Index terms: organic matter, seasonality, management, invertebrates.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, menor apenas que o Amazônico. Originalmente, ocupava 23,9 % do território nacional e, em razão do intenso desmatamento, passou a representar 12,4 % (IBGE, 2010). As transformações de uso do solo no Cerrado tiveram início na década de 1970. Juntamente com o desmatamento, algumas técnicas inadequadas de manejo do solo propiciaram a rápida degradação, ocasionando reduções no teor de matéria

orgânica e nutrientes (Resck et al., 2008). Diante do problema da degradação do solo, juntamente com a necessidade de eliminar plantas invasoras, surgiu o Sistema de Plantio Direto (SPD) (Derpsch, 1984). Esse sistema tem como fundamentos a eliminação/redução de operações de preparo do solo, o uso de herbicidas para controle de plantas invasoras, a formação e manutenção da cobertura morta e a rotação de culturas (Cruz et al., 2006). A formação e manutenção de cobertura morta nos trópicos são um dos principais obstáculos encontrados para o estabelecimento do SPD

(Silveira & Stone, 2010), pois, segundo Six et al. (2002), a ciclagem de compostos orgânicos e da matéria orgânica do solo (MOS) ocorre mais rápido em solos localizados em regiões de clima tropical, em razão das maiores temperaturas e condições de umidade, em comparação aos de clima temperado.

A grande quantidade de áreas com pastagens degradadas no Cerrado também é um entrave para o manejo produtivo, que segundo Silva et al. (2004), a maioria dos 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas nesse bioma tem sido mal fertilizada e manejada. Para tentar diminuir os obstáculos para a produção no Cerrado, surgiu a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que é uma alternativa eficiente, porém mais complexa, de manter a produtividade agrícola e indiretamente promover a recuperação e renovação de pastagens. Nesse sistema, a introdução da lavoura não é eventual, mas parte constante de um sistema misto de produção de grãos e animal, que interagem e se completam em aspectos do manejo, da fertilidade, da física e da biologia do solo, aumentando a renda dos produtores e trazendo progresso social ao campo (Macedo, 2009). Segundo Salton et al. (2005), sistemas de manejo que resultam em intensa produção e manutenção de palha sobre o solo, aliado a abundante sistema radicular, são indicados para promover a qualidade do solo e maior sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Contudo, mudanças no ambiente edáfico, em razão das práticas adotadas, podem alterar os atributos físicos, químicos e biológicos, que são indicadores de qualidade do solo (Kimpe & Warkentin, 1998). Para o estudo desses indicadores, torna-se necessária a análise das interações solo-planta-biota edáfica (Vezzani et al., 2008). Uma avaliação da qualidade do solo deve contemplar indicadores que integrem aspectos químicos, físicos e biológicos (Doran & Parkin, 1994) e reflitam processos do ecossistema.

A MOS pode ser utilizada como indicador da qualidade química do solo. É resultante, principalmente, da decomposição de resíduos de origem animal e vegetal. Esses resíduos ao serem depositados são submetidos inicialmente à decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, à ação decompositora dos microrganismos. Parte do carbono (C) presente nos resíduos é liberada para a atmosfera como CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica, como componente do solo (Bayer & Mielniczuk, 2008). A conservação da MOS é crucial para as propriedades químicas, biológicas e físicas do solo, em ambientes temperados e tropicais. Níveis adequados de MOS podem garantir a fertilidade do solo e minimizar impacto da agricultura sobre o meio ambiente por meio do sequestro de C, reduzindo a erosão do solo e preservando biodiversidade (Six et al., 2002).

Estudos evidenciam que perdas acentuadas de C são acompanhadas do consumo de frações de maior labilidade (Silva et al., 1994), comprometendo o

funcionamento dos solos. O estudo de frações oxidáveis, em que é possível quantificar os diferentes graus de oxidação da MOS por meio de concentrações crescentes de ácido sulfúrico, analisa o impacto da interferência do manejo nos compartimentos da matéria orgânica e essas frações podem vir a ser utilizadas como indicadoras da qualidade do solo (Rangel et al., 2008). Segundo Chan et al. (2001), as frações oxidáveis do carbono orgânico total (COT) são denominadas F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de ácido sulfúrico. Segundo os mesmos autores, as frações F1 e F2 estão associadas à formação de macroagregados e à disponibilidade de nutrientes, sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo e altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (Maia et al., 2007). As frações F3 e F4 estão relacionadas com compostos de maior estabilidade química, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994).

Como indicador biológico, a macrofauna do solo, definida como invertebrados que vivem no solo ou passam um ciclo da vida nele, vem sendo largamente utilizada, em razão de ser um atributo sensível ao impacto dos diferentes tipos de sistema de produção. Esses organismos conseguem refletir mudanças no ambiente pelo seu comportamento, pela densidade e diversidade, o que os tornam indicadores biológicos da qualidade do solo (Lavelle, 1997). Segundo Kladvik (2001), lavouras geralmente propiciam maiores impactos negativos sobre a macrofauna em comparação aos organismos de menor tamanho, sendo a macrofauna mais sensível à ruptura física, abrasão por operação de mobilização em si, e à perda dos resíduos de superfície, que proporciona redução da disponibilidade de alimento e abrigo. De acordo com Ingham (2000), a composição dos organismos do solo também pode ser influenciada pela sazonalidade e depende da fonte de alimentos, podendo apresentar composições diferentes em razão da cobertura vegetal (florestas, cultivos e pastagens), sendo capaz esta de beneficiar ou influenciar a cadeia. Esses indivíduos desenvolvem funções diversas como predadores, decompositores, possuem relações de mutualismo com a microflora, participam do processo de agregação do solo e consequentemente alteram a porosidade do solo. Também podem ser importantes reguladores da atividade microbiana dentro de suas esferas de influência, quando as condições são adequadas para sua atividade (Kladvik, 2001).

A fauna do solo está intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, assim ocorrem a mineralização e a humificação do material orgânico, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade dos ecossistemas naturais e agrícolas (Correia, 2002). Segundo Blanchart et al. (2006), a preservação da cobertura vegetal e dos organismos decompositores pode contribuir para melhoria da sustentabilidade da produtividade do sistema agrícola, sendo a fauna do solo, ao mesmo tempo, agente transformador e reflexo

das características físicas, químicas e biológicas dos solos.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar efeito em longo prazo do sistema ILP e da sazonalidade sob a comunidade da macrofauna edáfica e das frações oxidáveis do carbono orgânico total em áreas de cultivo e Cerradão.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Fazenda Cabeceira, Maracajú, MS, em latitude 21° 36' 52" sul e longitude 55° 10' 06" oeste, em uma altitude de 384 m, situando-se a 160 km da capital do Estado. O clima da região é tropical com temperaturas mínimas de 15 °C e máximas de 33 °C, a precipitação pluvial média anual oscila entre 1.300 e 1.500 mm.

As amostragens foram realizadas na Fazenda Cabeceira, que foi uma das pioneiras na implantação da ILP no Cerrado em 1989, sendo inicialmente introduzida a rotação de soja com pastagem; e, em 2003, implantado o sistema que funciona atualmente, consistindo em pastagem, soja e algodão, como culturas de verão, e pastagem, milho+braquiária e aveia+pastagem, como culturas de inverno. As áreas possuem o seguinte histórico: soja/milho+braquiária/algodão/aveia+pastagem/soja/formação da pastagem/pastagem. A braquiária em consórcio com o milho tem a função de melhorar a cobertura do solo com sua palhada, após a colheita do milho. A carga animal nas áreas de pastagem é de 3,5 ua ha⁻¹.

Foram realizadas duas amostragens, sendo a primeira na época seca (maio de 2009), onde as culturas que se encontravam na área eram pasto, cujo talhão avaliado possuía 43,04 ha; milho+braquiária em estágio vegetativo, em talhão de 51 ha; e algodão recém-colhido, em talhão de 57,29 ha, ambos conduzidos no sistema integração lavoura-pecuária. Também foi avaliada uma área de Cerradão, que foi utilizada como referência. A segunda amostragem foi realizada na época chuvosa (março de 2010), e as culturas presentes no momento da amostragem eram milho, que estava consorciado com braquiária, e algodão, ambos em estágio vegetativo, e soja recém-colhida. As áreas nas duas épocas de avaliação foram: Cerradão, pasto/milho, milho+braquiária/algodão e algodão/soja (Quadro 1). A área de pasto/milho corresponde à área de pasto, na época seca, e milho, na época chuvosa; a área de milho+braquiária/algodão corresponde à área de milho+braquiária na época seca e algodão na época chuvosa; o solo nessas áreas foi identificado como Latossolo Vermelho. A área de algodão/soja encontrava-se com algodão na época seca e soja na época chuvosa; nessa área o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo.

Em cada uma das áreas, em pontos representativos, foram abertas seis minitrincheiras, onde coletaram-

se amostras aleatoriamente espaçadas no mínimo 50 m entre si nos talhões, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. As amostras para análise química do solo foram às mesmas retiradas para análise da macrofauna edáfica.

A comunidade da macrofauna foi avaliada a partir do método de monólitos de solo recomendado pelo Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), descrito por Anderson & Ingram (1993). A área amostral foi delimitada por uma sonda metálica de 25 × 25 cm de largura, sendo coletadas a serapilheira ou palhada e as amostras de solo nas profundidades avaliadas.

Em seguida, ainda em campo, foi feita a separação manual da macrofauna (visível a olho nu) contida nas subamostras, sendo os indivíduos fixados em solução de álcool 70 %. Em laboratório, procederam-se à contagem e identificação ao nível de grandes grupos taxonômicos, em geral ordens, de acordo com as descrições fornecidas por Costa et al. (1988), CSIRO (1991) e Dindal (1990).

As comparações das comunidades das diferentes áreas foram feitas mediante a utilização da riqueza total, que é o número de grupos presentes em cada área; riqueza média, que é o número médio de grupos presentes em cada amostra; e o índice de equabilidade de Pielou ($H \log S^{-1}$).

De acordo com Melo (2008), a riqueza e a equabilidade avaliam aspectos diferentes da diversidade e apresentam bom padrão de resposta para comparações de diferentes situações ambientais.

Em adição a esses índices, foi calculado o Índice V (Wardle & Parkinson, 1991), para avaliar alterações na densidade de indivíduos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas produtivas em comparação com a área de vegetação nativa:

$$V = \frac{2 dM}{dM + dNM} - 1$$

em que V é a variação do índice; dM, a densidade de indivíduos nas áreas produtivas; e dNM, a densidade de indivíduos na área de vegetação nativa.

A área de Cerradão foi utilizada como referência. Os grupos foram classificados com base no índice de V (Quadro 2).

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Realizaram-se a caracterização do complexo sortivo (Embrapa, 1997) e o fracionamento granulométrico da matéria orgânica (Cambardella & Elliot, 1992), em que foram obtidas as frações de carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e frações oxidáveis do carbono orgânico total (COT) (Chan et al., 2001). Para obtenção das frações oxidáveis, amostras de 0,1 g de solo na profundidade de 0-10 cm e 0,2 g nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm foram acondicionadas em erlenmeyer

Quadro 1. Áreas avaliadas nas épocas seca e chuvosa

Área	Uso anterior	Uso no momento da amostragem	
		Época seca	
Pasto/milho	Pasto	Pasto	
Milho + braquiária/algodão	Soja	Milho + braquiária	
Algodão/soja	Milho + braquiária	Algodão	
Cerradão	Cerradão	Cerradão	
		Época chuvosa	
Pasto/milho	Soja	Milho	
Milho + braquiária/algodão	Milho + braquiária	Algodão	
Algodão/soja	Aveia + pastagem	Soja	
Cerradão	Cerradão	Cerradão	

Quadro 2. Classificação de acordo com a mudança de índice V⁽¹⁾, indicando inibição ou estimulação de grupos macrofauna do solo, em resposta ao sistema de manejo do solo

Inibição extrema	$V < -0,67$
Inibição moderada	$-0,33 > V > -0,67$
Inibição leve	$-0,05 > V > -0,33$
Sem alteração	$-0,05 < V < 0,05$
Estimulação leve	$0,05 < V < 0,33$
Estimulação moderada	$0,33 < V < 0,67$
Extrema estimulação	$V > 0,67$

⁽¹⁾ Modificada por Wardle (1995).

de 250 mL, adicionando-se 10 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} e quantidades de H_2SO_4 , correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 mol L^{-1} . O indicador utilizado foi a ferroína. Foram obtidas quatro frações de C, com graus decrescentes de oxidação.

As áreas não apresentavam delineamento experimental, sendo este um estudo de observação. Para os dados obtidos, em cada profundidade, foi feita uma avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (Cochran & Bartlett). Os dados das frações oxidáveis e macrofauna não se apresentaram normais e homogêneos, optando-se dessa forma pela utilização do Teste não paramétrico de Kruskal Wallis a 5 % (Zar, 1996).

Com o objetivo de se verificar a ocorrência de um gradiente de qualidade do solo, com base simultaneamente em diferentes compartimentos da MOS e macrofauna edáfica, foi realizada a análise multivariada, denominada de Análise de Redundância (Redundancy Analysis ou RDA) com o auxílio do programa CANOCO 4.5.

A RDA foi utilizada para investigar as relações correlativas de variáveis ambientais com diferentes compartimentos da MOS e macrofauna edáfica.

Durante a realização da análise de redundância, foi realizado o procedimento de partição da variabilidade, que, segundo Lepš & Šmilauer (1999), permite quantificar os efeitos e suas sobreposições de dois ou mais grupos de variáveis ambientais (ou independentes) sobre um conjunto de variáveis dependentes. No caso deste estudo, consideraram-se, como variáveis independentes, os seguintes conjuntos: as áreas avaliadas, as épocas de avaliação e as profundidades de amostragem do solo; e, como variáveis dependentes, os compartimentos da MOS e macrofauna edáfica.

RESULTADOS

Os maiores teores da fração F1 foram encontrados na camada de 0-10 cm em todas as áreas, nas duas épocas avaliadas (Quadro 3). Foi observado aumento da fração F1 da época seca para a chuvosa nas áreas de milho+braquiária/algodão, na profundidade de 10-20 cm, e Cerradão, pasto/milho e milho+braquiária/algodão, na profundidade de 20-30 cm. A sazonalidade influenciou na distribuição dos teores de C. O padrão da distribuição das frações oxidáveis diferiu entre época seca e chuvosa. Na época chuvosa, foram verificadas maiores proporções do COT nas frações F1 + F2. Na época seca, a maior proporção do COT na área de Cerradão foi observada nas frações mais recalcitrantes (F3 + F4). Nas demais áreas avaliadas, o C apresentou-se em maior proporção nas frações mais lábeis (F1 + F2).

Pela decomposição da variabilidade feita pela análise multivariada de redundância (RDA), verificou-se que as variáveis ambientais (áreas, profundidade e épocas de avaliação) explicaram 52,4 % de toda a variabilidade dos diferentes compartimentos da MOS. Por meio da análise da figura 1, observou-se que o C nas diferentes frações estudadas está mais associado à área de vegetação nativa. A variação entre áreas está explicando 18,5 % de toda a variabilidade dos compartimentos da MOS.

Quadro 3. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo: fração lábil (F1, F2) e recalcitrante (F3, F4) nas áreas avaliadas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, nas épocas seca (S) e chuvosa (C)

Área	COT		F1		F2		F3		F4	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
g kg ⁻¹										
0-10 cm										
Cerradão	37,57 Aa	33,9 Aa	11,63 Aa	10,00 Aa	5,75 Aa	4,75 AB	11,88 Aa	6,00 Aa	8,25 Aa	4,50 Aa
Pasto/milho	27,85 ABa	25,2 ABa	7,25 Aa	8,75 Aa	7,25 Aa	4,50 ABb	3,75 Ba	5,75 Aa	4,75 Aa	6,00 Aa
Milho + braquiária/algodão	26,54 ABa	26,0 ABa	9,75 Aa	11,38 Aa	5,25 Aa	4,87 Aa	8,13 ABa	4,25 Ab	2,88 Aa	2,63 Aa
Algodão/soja	24,90 Ba	20,8 Bb	7,50 Ab	11,00 Aa	6,38 Aa	2,00 Bb	9,12 ABa	5,25 Aa	2,25 Aa	1,87 Aa
10-20 cm										
Cerradão	27,80 Aa	22,3Ab	5,25 ABb	8,25 Aa	3,37 Aa	2,50 Aa	8,63 Aa	5,63 Ab	4,62 Aa	3,50 Aa
Pasto/milho	17,15 Ba	17,6 BCa	7,13 Aa	5,88 BCb	3,19 Aa	1,75 Ab	2,56 ABa	3,56 Aa	1,63 ABa	2,19 Aba
Milho + braquiária/algodão	17,86 ABb	16,1 ABa	4,13 Bb	7,38 ABa	1,50 Ab	1,88 Aa	1,63 Bb	3,25 Aa	1,50 Bb	2,50 Aba
Algodão/soja	13,49 Ba	22,9 Ca	6,00 ABa	5,06 Ca	1,19 Aa	1,63 Aa	2,69 ABa	3,63 Aa	2,12 ABa	1,13 Ba
20-30 cm										
Cerradão	25,45 Aa	22,30 Ab	2,63 Bb	5,75 Aa	5,00 Aa	3,50	7,50 Aa	6,25 Aa	2,25 Aa	3,00 Aa
Pasto/milho	14,80 ABb	17,57 ABa	3,38 ABb	4,63 ABa	4,63 Aa	2,87 Ab	3,37 ABa	2,81 ABa	1,13 Aa	1,44 Aba
Milho + braquiária/algodão	13,92 Bb	16,12 Ba	3,88 ABb	4,81 ABa	2,25 Aba	2,69 Aa	3,00 Ba	2,25 Bb	1,38 Aa	1,19 Aba
Algodão/soja	11,92 Ba	1,23 Ba	5,13 Ba	4,13 Ba	1,25 Ba	1,50 Aa	2,50 Ba	2,25 Aba	1,25 Aa	0,75 Ba

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis a 5 %.

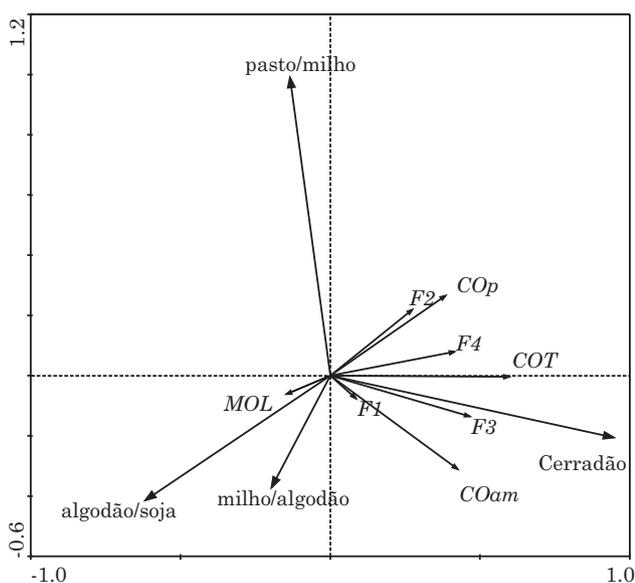


Figura 1. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das áreas avaliadas. COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis do carbono orgânico total. Valor de explicação do Eixo 1, 79,7 % e, do Eixo 2, 96,5 %.

Quanto à macrofauna edáfica, foi verificado que nas áreas de produção a densidade de Isoptera (cupim) foi reduzida e até mesmo inexistente em algumas áreas, enquanto na área de Cerradão foram encontrados valores de densidades de 363 e 1.851 indivíduos m⁻², respectivamente nas épocas seca e chuvosa. A sazonalidade apresentou-se como fator importante na alteração da densidade e diversidade da macrofauna edáfica. Observaram-se menor densidade total de indivíduos (1.083 indivíduos m⁻²) e riqueza total (17 grupos) na época seca, enquanto na época chuvosa a densidade total mais que dobrou (2.355 indivíduos m⁻²), a riqueza total apresentou pequeno incremento (18 grupos) na área de Cerradão. Os índices ecológicos para as áreas de estudo nas duas épocas são apresentados no quadro 4.

Nas duas épocas de avaliação, na área de Cerradão não foram verificados os menores valores de equabilidade, decorrente da predominância de Formicidae e Isoptera, que juntos somam 75 % da média dos indivíduos encontrados nessa área para época seca. Na época chuvosa, Formicidae e Isoptera representaram 91 % da média de indivíduos encontrados. As áreas de milho+braquiária/algodão na época seca e algodão/soja na chuvosa apresentaram os maiores valores de equabilidade. Na época seca, na área de milho+braquiária/algodão, a cultura instalada era o milho+braquiária e a cultura anterior soja. A influência da cultura anterior foi observada pela

análise da palhada que estava na superfície, onde se verificou material vegetal oriundo da soja, que possui relação C/N mais baixa em comparação aos demais resíduos vegetais. No momento da coleta na época chuvosa, não havia cultura instalada na área de algodão/soja, sendo identificados apenas os resíduos culturais da cultura da soja que havia acabado de ser colhida.

Em relação às profundidades estudadas (Quadro 4), na época chuvosa, somente ocorreram diferenças de densidade entre profundidade nas áreas de Cerradão e pasto/milho. Para a área de Cerradão, a camada de 0-10 cm possui 2.013 (92,4 %) dos indivíduos; e na área de pasto/milho, 453 (67,7 %) do total de indivíduos encontrados no solo. O aumento da densidade na profundidade de 0-10 cm para a área pasto/milho pode ser atribuído à grande quantidade de Oligochaeta (minhocas) encontradas, representando 85 % do total de indivíduos. Para a amostragem na época seca na

mesma área e profundidade, esse valor foi de 0,6 %, demonstrando a influência da sazonalidade na macrofauna do solo, principalmente nos indivíduos pouco móveis como os Oligochaeta, promovendo alteração da densidade e da distribuição vertical dos indivíduos. Analisando o quadro 5, pode-se observar que essa área apresentou 0,28 kg kg⁻¹ de água no solo, sendo os teores de água, para a mesma época de avaliação, mais elevados em comparação aos das demais áreas de produção.

Na área de Cerradão, na época seca, ocorreu predominância da ordem Isoptera (cupim), sendo encontrados 360 indivíduos m⁻², e da Família Formicidae (formigas), 285 indivíduos m⁻² de um total de 864, representando assim 75 % dos indivíduos para profundidade 0-10 cm. Na figura 2, é apresentada a análise de RDA, em que pode ser observado como a ordem Isoptera está relacionada com a área de Cerradão, com as diferentes formas de matéria

Quadro 4. Densidade total, e em cada profundidade estudada, da macrofauna edáfica com os respectivos erro-padrão e índices ecológicos, nas duas épocas de avaliação

Área	Densidade da macrofauna				Riqueza		Índice de Pielou
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Total	Média	Total	
Indivíduo m ⁻²							
Época seca							
Cerradão	864 ± 300 Aa	107 ± 31 Aab	16 ± 7 Ab	1083 ± 305	9,0 ± 0,68 A	17	0,65
Pasto/milho	400 ± 284 Aa	19 ± 8 Aa	27 ± 18 Aa	445 ± 287	2,8 ± 0,75 B	8	0,25
Milho + braquiária/algodão	363 ± 137 Aa	99 ± 39 Aa	160 ± 89 Aa	640 ± 205	7,7 ± 0,92 A	17	0,75
Algodão/soja	133 ± 60 Aa	259 ± 120 Aa	27 ± 15 Aa	477 ± 130	5,5 ± 1,15 AB	13	0,65
Época chuvosa							
Cerradão	2013 ± 662 Aa	96 ± 43 Ab	69 ± 22 Ab	2355 ± 1639	9,0 ± 0,82 A	18	0,33
Pasto/milho	453 ± 106 Aa	64 ± 28 Ab	152 ± 66 Aab	691 ± 116	5,0 ± 1,06 B	12	0,47
Milho + braquiária/algodão	216 ± 76 Aa	643 ± 395 Aa	109 ± 69 Aa	984 ± 487	5,7 ± 0,92 AB	12	0,57
Algodão/soja	136 ± 45 Aa	107 ± 53 Aa	53 ± 20 Aa	341 ± 98	6,0 ± 0,68 AB	14	0,80

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis a 5 %.

Quadro 5. Umidade do solo em diferentes profundidades e serapilheira/palhada das áreas de estudo nas duas épocas de avaliação

Área	Serapilheira/palhada	Umidade do solo		
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
kg kg ⁻¹ material vegetal		kg kg ⁻¹ solo		
Época seca				
Cerradão	0,53	0,29	0,27	0,26
Pasto/milho	Não avaliado	0,23	0,19	0,19
Milho + braquiária/algodão	0,18	0,18	0,13	0,14
Algodão/soja	0,17	0,16	0,10	0,12
Época chuvosa				
Cerradão	9,3	3,4	3,3	3,8
Pasto/milho	3,3	2,8	2,5	2,7
Milho + braquiária/algodão	9,6	2,4	2,3	2,1
Algodão/soja	7,8	2,0	1,2	1,5

Quadro 6. Grupos da macrofauna edáfica encontrados nas diferentes áreas, profundidades e épocas avaliadas

Área/Grupo	Profundidade		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Época seca			
Cerradão			
Isoptera	360 A	0 B	2,67 AB
Larva de Coleoptera	82,67 A	5,33 B	2,67 B
Milho+braquiária/algodão			
Diplopoda	61,33 A	2,67 AB	0 B
Oligochaeta	101,33A	5,33 AB	2,67 B
Época chuvosa			
Cerradão			
Formicidae	45,33 A	2,67 B	18,67 AB
Larva de Coleoptera	42,67 A	18,67 AB	2,67 B
Pasto/milho			
Oligochaeta	384 A	32 B	8 B

orgânica, COT, CO_p, CO_{am} e frações oxidáveis do COT (F1, F2, F3 e F4). Verificou-se que o fator área está explicando 7 % de toda a variabilidade dos dados da fauna do solo e 18,5 % de toda variabilidade das diferentes formas e frações de C. Contudo, pela análise de RDA, notou-se que os Isoptera no ambiente Cerrado possuem preferência por áreas com elevados teores de matéria orgânica.

Os grupos Larva de Coleoptera, Isoptera, Formicidae, Diplopoda e Oligochaeta apresentaram preferência por habitarem a camada superficial do solo. Os maiores valores densidade foram encontrados na profundidade de 0-10 cm (Quadro 6). Em relação à disponibilidade de nutrientes, os teores de C (Quadro 3) diminuíram em profundidade, assim como os de água do solo (Quadro 5).

A comunidade da macrofauna edáfica demonstrou índices de inibição extrema e inibição moderada de grupos, em relação à área de vegetação nativa em todas as áreas e épocas avaliadas (Quadro 7). Na época seca, a área de pasto/milho evidenciou os maiores índices de inibição extrema de indivíduos da macrofauna edáfica e conseqüentemente foi o que menos estimulou. Em relação à estimulação, a área de milho+braquiária/algodão foi a que apresentou representantes em todos os intervalos avaliados; aqueles que tiveram estimulação leve foram Chilopoda e Diplopoda; estimulação moderada, Hymenoptera e Oligochaeta; e aquele que teve estimulação extrema foi Isopoda. A área de algodão/soja estimulou moderadamente Isopoda e Diplopoda. Na época chuvosa, as áreas não diferiram muito em relação aos índices, apresentando padrão regular entre elas, visto que a área de pasto/milho nessa época de avaliação apresentava cobertura vegetal morta.

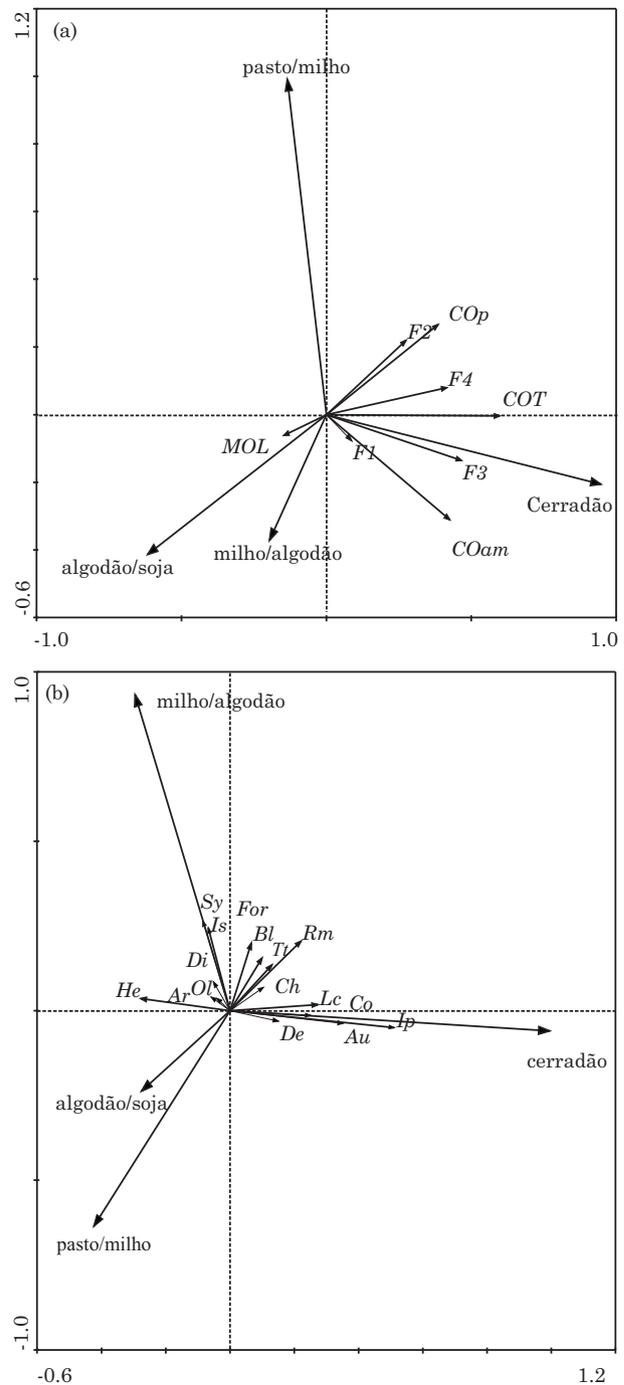


Figura 2. Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo (a) e da macrofauna do solo em função de áreas avaliadas (b). COT: carbono orgânico total, CO_p: carbono orgânico particulado, CO_{am}: carbono orgânico associado a minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica, Ar: Araneae, Au: Auchenorrhyncha, Bl: Blattodea, Ch: Chilopoda, Co: Coleoptera, De: Dermaptera, Di: Diplopoda, For: Formicidae, He: Heteroptera, Is: Isopoda, Ip: Isoptera, Lc: Larvas de Coleoptera, Ol: Oligochaeta, Sy: Symphyla, Tt: Total e Rm: Riqueza média.

Quadro 7. Mudança de Índice (V) das áreas de Integração lavoura-pecuária em relação à área de Cerradão, usada como referência

Área	Índice						
	IE	IM	IL	SA	EL	EM	EE
% (nº de grupos)							
Época seca							
Pasto/milho	75,00 (12)	12,50 (2)	0	6,25 (1)	6,25	0	0
Milho + braquiária/algodão	31,25 (5)	6,25 (1)	25,00 (4)	6,25 (1)	12,50 (2)	12,50 (2)	6,25 (1)
Algodão/soja	31,25 (5)	12,50 (2)	31,25 (5)	0	12,50 (2)	12,50 (2)	0
Época chuvosa							
Pasto/milho	43,75 (7)	12,50 (2)	18,75 (3)	6,25 (1)	0	12,50 (2)	6,25 (1)
Milho + braquiária/algodão	50,00 (8)	18,75 (3)	12,50 (2)	6,25 (1)	0	12,50 (2)	0
Algodão/soja	37,50 (6)	12,50 (2)	18,75 (3)	12,50 (2)	6,25 (1)	12,50 (2)	0

IE: inibição extrema; IM: inibição moderada; IL: inibição leve; AS: sem alteração; EL: estimulação leve; EM: estimulação moderada e EE: estimulação extrema (dado como número de grupos e porcentagem de grupos por categoria).

DISCUSSÃO

Os maiores valores da fração F1 na camada superficial são decorrentes da maior deposição de material orgânico na superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por Loss (2011) em estudo em área de Cerradão, SPD e ILP. Nos estudos de frações de matéria orgânica em Latossolo cultivado com cafeeiro, Rangel et al. (2007) verificaram redução dos teores de C lábil (F1) em profundidade do solo, atribuindo os resultados encontrados às adições frequentes de material orgânico ao solo pelos sistemas de manejo, que favorecem maior proporção da fração lábil em detrimento das frações mais recalcitrantes na camada mais superficial (Chan et al., 2001).

O aumento dessa fração da época seca para chuvosa nas áreas de milho+braquiária/algodão, na profundidade de 10-20 cm, e Cerradão, pasto/milho e milho+braquiária/algodão, na profundidade de 20-30 cm, pode estar relacionado com maiores adições de C nessas áreas por meio do enraizamento mais profundo das gramíneas. Em estudos sobre frações granulométricas da MOS, Beutler et al. (2009) relacionaram maiores teores de C_{Op}, com o enraizamento da braquiária. O C_{Op} está associado às frações mais lábeis do solo, assim como a fração F1 apresenta maior labilidade e também maior sensibilidade ao manejo.

O maior crescimento radicular na época chuvosa da vegetação herbácea pode ter favorecido o aumento das frações F1 e F2 nessas áreas, em detrimento das frações F3 e F4. Nos modelos de simulação da dinâmica da MOS, a fração F4 apresenta um tempo de reciclagem de até 2.000 anos (Chan et al., 2001). Tal fato evidencia o acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Rangel, 2007). Dessa forma, verificou-se a importância da adaptação do manejo dos sistemas de cultivo para

a máxima recuperação possível em relação à área de referência. A fração F4 evidenciou-se pouco sensível às mudanças de ambiente na profundidade de 0-10 cm, não apresentando diferença nos teores entre áreas e épocas de avaliação, confirmando assim que se trata de um compartimento da MOS muito estável, independentemente de cultura e sazonalidade.

As diferentes frações de C estudadas estão mais associadas à área de vegetação nativa, visto que esse é um ambiente não antropizado, ou seja, o processo de decomposição da matéria orgânica não é alterado pelo manejo. Segundo Grigal & Bergusson (1998), a adição de matéria orgânica no solo por meio de culturas é menor em comparação à vegetação perene nativa, o que explica o fato da área de Cerradão estar associada às diferentes frações de C.

As frações mais humificadas do C encontradas na área de Cerradão também foram observadas por Rangel et al. (2008), em estudo sobre frações de matéria orgânica em Latossolo em Minas Gerais, e por Loss et al. (2009), os quais avaliaram as frações oxidáveis sobre sistema de aleias no Maranhão. Esses autores verificaram que solos de áreas produtivas apresentam maior proporção de C lábil em relação à área de mata, atribuindo esses resultados à maior biodisponibilidade do C nas áreas produtivas. Loss (2011) avaliou áreas de Cerradão, SPD e ILP, encontrando resultados semelhantes. O autor relatou que esse padrão pode ser em razão ao acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química oriunda da decomposição e humificação da MOS, em ambiente de vegetação natural.

Uma possível explicação para os maiores valores das frações F3 e F4 em relação à F1 e F2 na área de Cerradão pode ser atribuída à ação dos Isopteros, que poderiam estar atuando como agente humificador da matéria orgânica nessa área. Esse padrão somente foi verificado na área de Cerradão, visto que nas áreas produtivas Isoptera é controlado pelo manejo. A

redução e, ou, ausência desse grupo de indivíduos no sistema produtivo pode estar propiciando a não estabilização da MOS nas frações F3 e F4. Esse padrão é confirmado quando avaliados os teores de COT, verificando-se que as áreas produtivas possuem menores teores em comparação com Cerradão. Dessa forma, preconiza-se que não está ocorrendo o ciclo completo de decomposição e humificação da matéria orgânica, havendo perdas de C durante esses processos. Segundo Jouquet et al. (2011), em ambientes tropicais, térmitas contribuem para o consumo e a mineralização de uma parte significativa da matéria orgânica, por meio do processamento de grandes quantidades de material vegetal. Também, além de retalhar o material vegetal, aumentando a área de superfície acessível para os microrganismos do solo, seus próprios simbiontes intestinais participam do processo de decomposição. A consequência de tal atividade é o retorno da MOS por meio de fezes, biomassa de corpos e dentro de estruturas biogênicas, que de outra forma seriam perdidos para as queimadas periódicas, características das savanas mais secas e dos cerrados.

As variações sazonais de densidade de indivíduos da macrofauna edáfica, assim como a riqueza e os índices de diversidade de equabilidade podem ser consequência de uma maior disponibilidade de recursos alimentares e presença de micro-habitats que são formados, favorecendo assim maior riqueza total de grupos. Lourente et al. (2007) também verificaram maior riqueza de grupos em área de mata nativa, atribuindo essa riqueza ao maior equilíbrio e diversidade da vegetação desse ecossistema. Esse padrão também foi observado por Silva et al. (2006), os quais, em estudos da macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado, verificaram que na vegetação nativa ocorreu maior densidade total e diversidade de grupos. Os autores atribuíram esse resultado ao ambiente mais favorável em termos de variedade de micro-habitats e oferta de recursos.

A predominância de Formicidae e Isoptera em áreas de vegetação nativa também foi verificada por Silva et al. (2007), em estudo de diferentes sistemas de cobertura do solo no Cerrado. Os elevados valores de densidade para essa área podem ser decorrentes das práticas culturais empregadas nas culturas comerciais que eliminam organismos como cupins e formigas, promovendo menores valores em comparação à área de vegetação nativa onde esse controle não é realizado.

A presença de resíduos recentes de plantas leguminosas favoreceu o aumento do índice de diversidade por causa de essas apresentarem menor relação C/N, o que favorece a mais rápida decomposição do material vegetal. Resultados semelhantes foram encontrados por Marchão et al. (2009) em sistemas de integração lavoura-pecuária num Latossolo Vermelho do Cerrado, onde foi verificada preferência por colonização da macrofauna em ambientes com plantas leguminosas.

A sazonalidade tem grande influência na macrofauna edáfica, principalmente nos indivíduos pouco móveis como os Oligochaeta, promovendo alteração da densidade e da distribuição vertical dos indivíduos. Segundo Chan (2001), maiores populações de minhocas têm sido observadas em sistemas de manejo conservacionistas, em razão de esse sistema proporcionar maior disponibilidade de alimento como a matéria orgânica e reter mais umidade no solo, menor amplitude térmica e menor perturbação do solo, o que propicia um ambiente favorável à presença de minhocas. No entanto, a abundância da população encontrada em áreas de plantio direto é muitas vezes menor do que a encontrada em pastagem.

A duração da estação seca é uma das hipóteses para explicar a baixa ocorrência de Oligochaeta no Cerrado (Benito et al., 2004), estando associada a esse fator a baixa disponibilidade de água e nutrientes, em especial no período seco. A grande quantidade de Oligochaeta encontrada na área de pasto/milho na época chuvosa pode ser explicada pelo teor de umidade do solo e pela maior densidade de raízes observadas no campo e produzidas pela pastagem. O teor de água é, de acordo com Lavelle (1983), a variável ambiental mais importante na distribuição e abundância desse grupo em solos tropicais.

A preferência por alguns grupos habitarem a camada superficial também foi verificada por Klenk (2010), em estudo em áreas de pastagem com pastoreio rotativo. Esse aumento de densidade em superfície pode ser decorrente de as áreas apresentarem maior quantidade de serapilheira/palhada sobre o solo e, portanto, pode estar relacionado à disponibilidade de nutrientes e abrigos. Esses indivíduos, entre outros grupos, são responsáveis pela transformação da serapilheira/palhada (Moreira et al., 2010); por isso, a maior densidade ocorreu na camada superficial. A diminuição da densidade de Oligochaeta em profundidade corrobora com os resultados de Smith et al. (2008), os quais realizaram estudo de diversidade e abundância de minhocas em diferentes usos do solo.

Os maiores índices de inibição extrema em pasto/milho pode ser decorrente do fato que essa área apresentou densidade do solo de $1,66 \text{ Mg m}^{-3}$, que é a maior em comparação as demais áreas com 1,05; 1,60; e $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente para Cerradão, milho+braquiária/algodão e algodão/soja, na profundidade de 0-10 cm. Esses dados, juntamente com a caracterização química e granulométrica, podem ser observados em Batista et al. (2013). Segundo Lanza et al. (2007), em ILP, a pressão proveniente do pisoteio animal, durante a fase de pastejo, resulta em aumento da densidade do solo, e, de acordo com Flores et al. (2007), a utilização de sistemas de manejo do solo que envolvam pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, corroborando assim com o fato de a área de pasto/milho, onde o pasto era a cultura no momento desta avaliação,

inibiu alguns grupos da macrofauna edáfica. Em relação à estimulação, os indivíduos de Isopoda, Diplopoda e Oligochaeta foram estimulados nas áreas com camada de cobertura morta oriunda do plantio direto, pois são decompositores (Moreira et al., 2010).

CONCLUSÕES

1. A compartimentalização da MOS pode ser utilizada para avaliação da qualidade do manejo, sendo os compartimentos mais sensíveis as frações F1 e F2 na avaliação de frações oxidáveis.
2. Os Isoptera podem estar atuando como agentes humificadores da matéria orgânica na área de Cerradão, contribuindo para maiores teores de F3 e F4 em relação à F1 e F2 na época seca.
3. A cultura instalada no momento das avaliações e os resíduos vegetais da cultura anterior, de maneira geral, influenciaram na estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, assim como a sazonalidade.
4. A área de Cerradão apresentou a maioria das frações associadas, sendo possível obter um gradiente de qualidade do solo com base na MOS.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biological and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, CAB International, 1993. 221p.
- BATISTA, I.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A. & ROWS, J.R.C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. *Semina: Ci. Agron.*, 34:93-98, 2013. (Suplemento, 1)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.7-18.
- BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M.F. & BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *Eur. J. Soil Sci.*, 40:147-154, 2004.
- BEUTLER, S.J.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. & ANJOS, L.H.C. Carbono orgânico total e carbono das frações granulométricas da matéria orgânica do solo em sistema de consórcio e rotação de culturas sob sistema plantio direto no cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM
- BLANCHART, E.; VILLENAVE, C.; VIALLATOUX, A.; BARTHÈS, B.; GIRARDIN, C.; AZONTONDE, A. & FELLER, C. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *Eur. J. Soil Sci.*, 42:136-144, 2006.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CHAN, K.Y. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity implications for functioning in soils. *Soil Till. Res.*, 57:179-191, 2001.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A. & OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in a Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.*, 166:61-67, 2001.
- CORREIA, M.E.F. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores de manejo de ecossistemas. *Seropédica, Embrapa Agrobiologia*, 2002. 23p. (Embrapa Agrobiologia, Documentos, 157)
- COSTA, C.; VANIN, S.A. & CASARI-CHEN, S.A. Larvas de coleoptera do Brasil. São Paulo, Museu de Zoologia, 1988. p.282.
- CRUZ, J.C.; ALVARENGA, R.C.; NOVOTNY, E.H.; PEREIRA-FILHO, I.A.; SANTANA, D.P.; PEREIRA, F.T.F. & HERNANI, L.C. Cultivo do milho. 2.ed. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Versão eletrônica)
- COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION - CSIRO. The insects of Australia: A textbook for students and research workers. 2.ed. New York, Cornell University Press, 1991. 1136p.
- DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre plantio direto no Brasil. In: TORRADO, P.V. & ALOISI, R.R., eds. Plantio direto no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.1-12.
- DINDAL, D. Soil biology guide. New York, John Wiley & Sons, 1990. 1348p.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. v.35, p.3-22.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B. & FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:771-780, 2007.

- GRIGAL, D.F. & BERGUSON, W.E. Soil carbon changes associated with short-rotation systems. *Biomass Biol.*, 14:371-377, 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2010. 443p. (Estudos e Pesquisas: Informação Geográfica, 7)
- INGHAM, E.R. The soil food web. In: TURGEL, A.J.; LEWANDOWSKI, A.M. & HAPPEN-VONARB, D., eds. *Soil biology primer*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 2000. p.4-9.
- JOUQUET, P.; TRAORÉ, S.; CHOOSAI, C. & BIGNELL, D. Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *Eur J. Soil Biol.*, 47:215-222. 2011.
- KIMPE, C.R. & WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. In: BLUME, H.P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C. & STEINER, K.G., eds. *Towards sustainable land use - Furthering cooperation between people and institutions*. *Adv. Geocol.*, 31:3-10, 1998.
- KLADIVKO, E.J. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.*, 61:61-76, 2001.
- KLENK, L.A. Macrofauna invertebrada edáfica em pastagem com pastoreio rotativo sob diferentes preparos orgânicos em condições subtropicais no sul do Brasil. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2010. 54p. (Dissertação de Mestrado)
- LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas. The community structure. In: BOURLIERE, F., ed. *Tropical savannas*. Amsterdam, E.S.P.C., 1983. p.477-484.
- LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem functions. *Adv. Ecol. Res.*, 27:93-132, 1997.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1131-1140, 2007.
- LEPŠ, J. & ŠMILAUER, P. Multivariate analysis of ecological data. ěeské Budějovice, Faculty of Biological Sciences, University of South Bohemia, 1999. 110p.
- LOURENTE, E.R.P.; SILVA, R.F.; SILVA, D.A.; MARCHETTI, M.E. & MERCANTE, F.M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Sci. Agron.*, 29:17-22, 2007.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J. & FERRAZ-JUNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aleias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:867-874, 2009.
- LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado Goiano. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. 122p. (Tese de Doutorado)
- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas. *R. Bras. Zootec.*, 38:133-146, 2009.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; SENNA, O.T.; MENDONÇA, E.S. & ARAUJO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agrofor. Syst.*, 71:127-138, 2007.
- MARCHÃO, R.L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L.C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:1011-1020, 2009.
- MELO, A.S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?. *Biota Neotrop.*, 8:21-27, 2008.
- MOREIRA, F.M.S.; HUISING, E.J. & BIGNELL, D.E. Manual de biologia dos solos tropicais: Amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. 368p.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ci. Agrotec.*, 32:429-437, 2008.
- RESCK, D.V.S.; FERREIRA, E.A.B.; FIGUEIREDO, C.C. & ZINN, Y.L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.359-417.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.; BOENI, M. & CONCEIÇÃO, P.C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58p.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:541-547, 1994.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J. & VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103:357-363, 2004.
- SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. & GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:697-704, 2006.
- SILVA, R.F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C.R.; AQUINO, A.M. & MERCANTE, F.M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:865-871, 2007.

- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. Plantas de cobertura dos solos do Cerrado. Santo Antonio de Goias, Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 218p.
- SMITH, R.G.; McSWINEY, C.P.; GRANDY, A.S.; SUWANWAREE, P.; SNIDER, R.M. & ROBERTSON, G.P. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil Till. Res.*, 100:83-88, 2008.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; MORAES, J.C. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, and reactions. John Wiley & Sons, New York, 1994. 496p.
- VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A. & DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.483-494.
- ZAR, J.H. Biostatistical analysis. 3.ed. New Jersey, Prentice-Hall International, 1996. 662p.
- WARDLE, D.A. & PARKINSON, D. Analyses of co-occurrence in a fungal community. *Mycol. Res.*, 95:504-507, 1991.