

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO OESTE PARANAENSE

Deisi Navroski¹, Adônis Moreira², Arnaldo Colozzi-Filho³ e Luciana Grange⁴

¹Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445, km 380, Campus Universitário, 86055-900, Londrina, Paraná, Brasil. deisnavroski@gmail.com; ²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, Rodovia Carlos João Strass, s/nº Acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta, 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil. adonis.moreira@embrapa.br; ³Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, 86047-902 - Londrina, Paraná, Brasil. acolozzi@iapar.br; ⁴Universidade Federal do Paraná, Rua Pioneiro, nº2153, 85950-000, Palotina, Paraná, Brasil. lucianagranger@gmail.com

O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos microbiológicos do solo em diferentes sistemas de manejo na região oeste do Estado do Paraná. Avaliou-se na profundidade 0-20 cm em áreas de sistema agropastoril, cultivo mínimo, pastagem, plantio convencional e floresta primária o conteúdo de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo, quociente metabólico, quociente microbiano e fosfatase ácida. A análise de componentes principais mostrou evidente distância dos atributos microbiológicos, entre a floresta primária com as áreas em cultivo mínimo e plantio convencional. Os atributos mais importantes apontados pela análise de componentes principais na distribuição dos manejos foram o quociente microbiano e a atividade da fosfatase ácida. Não houve diferença para a respiração basal e o quociente nos diferentes sistemas de manejos. O sistema agropastoril provê aumento da quantidade e atividade da CBM, e, contribui com o estoque de carbono do solo, enquanto a mobilização do solo realizado no plantio convencional afeta o compartimento microbiológico do solo.

Palavras-chave: Biomassa microbiana, qualidade do solo, quociente microbiano, fosfatase ácida, carbono orgânico.

Microbiological attributes of soil in different management systems in west of Parana State, Brazil. The objective of this study was to evaluate soil microbiological attributes in different management systems in the western region of the Paraná State. At 0-20 cm depth, the microbial biomass carbon content, basal respiration of the soil, metabolic quotient, microbial quotient and acid phosphatase in areas of agropastoral system, minimum cultivation, pasture, conventional tillage and primary forest were evaluated. Principal component showed that there was evident distance, in terms of microbiological attributes, between the primary forest of the areas under minimum cultivation and conventional tillage. The most important attributes indicated by the principal component in the distribution of the management were the microbial quotient and the acid phosphatase activity. The basal respiration and the metabolic quotient did not present significant differences in the different management. The agropastoral system provides an increase in the amount and activity of the soil microbial biomass and contributes to the soil carbon stock, while soil mobilization in the conventional tillage negatively affects in the soil microbiological compartment.

Key words: Microbial biomass, soil quality, microbial quotient, acid phosphatase, organic carbon.

Introdução

Os componentes microbiológicos do solo são os atributos mais sensíveis à mudanças no ambiente (Li et al., 2013; Oliveira et al., 2016), sendo usados como ferramentas confiáveis para avaliar e quantificar a qualidade e as alterações nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Nogueira et al., 2006; Liang et al., 2012; Lopes et al., 2013).

Os atributos microbiológicos comumente utilizados são aqueles que se relacionam com os ciclos biogeoquímicos ou indicam atividade microbiana no solo, tais como: carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$) (Lourente et al., 2011; Eleftheriadis & Turrión, 2014; Zhou et al., 2017; Goenster et al., 2017), atividade enzimática (Balota et al., 2011; Moreira et al., 2013; Zaninetti et al. 2016; Maharjan et al., 2017) e mais recentemente, a estrutura e diversidade da comunidade microbiana do solo (Anderson, 2003; Xu et al., 2017; Leeuwen et al., 2017). Esses atributos variam de acordo com as condições edafoclimáticas, pH, umidade, teor de elementos (Karlen et al., 2006; Nogueira et al., 2006; Lopes et al., 2013; Medeiros et al., 2017) e tipo de cobertura vegetal (Moreira et al., 2011).

Diversos trabalhos demonstram que os atributos microbiológicos são categóricos para indicar a qualidade do solo em diferentes ecossistemas e condições edafoclimáticas. A recuperação de áreas degradadas está fortemente limitada por variáveis microbiológicas e bioquímicas do solo (Silveira et al., 2006). Babujia et al. (2010) verificaram que houve aumento na RBS, $qMIC$, CBM, NBM e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) totais, no sistema de plantio direto (SPD) em relação ao plantio convencional (PC) estabelecidos por 20 anos em um Latossolo. Em outro trabalho, Ferreira et al. (2017) observaram que em um Latossolo sob SPD, o CBM e qCO_2 foram próximos àqueles de mata. Silva et al. (2012), observaram que a introdução de sistemas agrícolas acarretam em redução na atividade enzimática, CBM e NBM quando comparados com área florestal e pastagem em um Cambiossolo. O desmatamento e posterior uso agrícola levam à diminuição de carbono orgânico (CO) e diminuem as propriedades microbiológicas, sugerindo

a deterioração da qualidade do solo (Eleftheriadis & Turrión, 2014).

Tendo em vista que os atributos microbianos devem ser considerados como indicadores de perturbação em ecossistema alterados por práticas de uso e manejo do solo (Maharjan et al., 2017), o objetivo do trabalho foi avaliar atributos microbiológicos do solo em diferentes sistemas de manejo na região oeste do Estado do Paraná.

Material e Métodos

Áreas de estudo e amostragem

As áreas avaliadas estão sob influência do clima classificado como Cfa, clima subtropical úmido mesotérmico (Köppen-Geiger) com precipitação média anual de 1600-2000 mm temperatura variando de 21 a 23°C e umidade relativa de 70 a 80% (Cavaglione, 2000). Quatro amostras de solo foram coletadas aleatoriamente em cada área na profundidade de 0-20 cm em sistema agropastoril (AG), cultivo mínimo (CM), pastagem (PA) e plantio convencional (PC) em cinco locais distribuídos em quatro municípios do oeste paranaense [Francisco Alves (24°4'22" LS e 53°50'40" LW); Palotina (24°15'23" LS e 53°56'4" LW); Marechal Cândido Rondon (24°31'23" LS e 54°4'2" LW) e Margarida- Distrito de M.C. Rondon (24°56'7" LS e 54°17'50" LW)]. Além destas, uma área de referência com floresta primária (FP) foi amostrada em Palotina (24°18'28" LS e 53°54'16" LW). Os solos foram classificados de acordo com o mapa dos solos do Estado do Paraná (Bhering et al., 2007) e o histórico de uso das áreas foi obtido por questionários aplicado junto aos proprietários no momento das coletas de solo (Tabela 1).

Análises laboratoriais

O solo foi peneirado em malha de 4,0 mm para determinação da umidade pelo método gravimétrico e tratado em duplicata para determinação do CBM pelo processo de fumigação e extração. Neste, as amostras de solo foram pré-incubadas e fumigadas conforme descrito por Jenkinson & Powlson (1976), e a extração do C pelo procedimento proposto por Vance et al. (1987). A RBS foi determinada após a incubação do solo por 10 dias com NaOH 1M e titulação usando HCl 0,5N. A atividade da enzima fosfatase ácida (FOSF) foi

Tabela 1. Classificação do solo, altitude e descrição do uso e manejo do solo em áreas na região oeste do Estado do Paraná sob sistema agropastoril (AG), cultivo mínimo (CM), pastagem (PA), plantio convencional (PC) e área de floresta primária (FP)

Manejo e Local	Classificação do solo/Altitude// Descrição de uso da área
AG Francisco Alves	Latossolo Vermelho com plantio de soja na safra de verão e milho de inverno. Entressafra inverno/verão alocação de bovinos para corte densidade de 5 animais/ha. Sistema implantado há 3 anos. Na ocasião da amostragem havia palhada de milho e animais na área.
CM Palotina	Latossolo Vermelho com semeadura direta em palha de milho com escarificação nas bordaduras (sistema desde 2008). Cultivo principal de soja para grão sucedido por milho nos meses de inverno. No momento da coleta de solo a soja ainda não tinha sido semeada.
PA M. C. Rondon	Nitossolo Vermelho de pastagem plantada de <i>Cynodon dactylon</i> (tifton) de longo uso, sob pastejo rotacionado de gado leiteiro em regime extensivo. Na gleba amostrada, na ocasião da coleta não havia animais na área. Recente aplicação de dejetos suíno.
PC Margarida	Latossolo Vermelho de plantio convencional de longa duração com uso de grade pesada e arado, desde o ano de 1970 com cultivo de soja em sucessão com milho. Uma a duas aplicações de dejetos de suinocultura ao ano. Na ocasião da amostragem o solo estava revolvido e com palhada de milho.
FP Parq. São Camilo	Latossolo Vermelho de floresta estacional semidecidual, inserida no domínio de Floresta Atlântica, representada por sua formação submontana, ocorrendo ainda formações pioneiras com influência flúvio-lacustre (várzeas) e estágios intermediários de sucessão vegetal (IAP, 2006).

determinada de acordo com Tabatabai (1994), cujo solo foi incubado com o substrato *p*-nitrofenil fosfato de sódio, usando tampão universal modificado (MUB) (pH 5,5). O carbono orgânico total (COT) foi quantificado pelo método de Walkley-Black (Pavan et al., 1992). O qCO_2 foi obtido pela razão entre a RBS por unidade de CBM do solo e o $qMIC$ foi calculado pela relação entre o CBM e o COT do solo.

Análises estatísticas

Os dados foram testados quanto à adequação dos resíduos à distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade pelo teste de Bartlett. Nas variáveis que apresentaram ausência de normalidade ou homocedasticidade, os dados foram transformados pelo método de Box-Cox e testados novamente. Em caso de ineficiência da transformação dos dados, os tratamentos foram comparados pelo teste de Kruskal-Wallis. Para dados normalizados, os dados foram dispostos como sendo inteiramente casualizados com quatro repetições. Posteriormente, realizou-se análise de variância (ANOVA) e teste F, quando a diferença foi significativa aplicou-se o teste Tukey ($pd \leq 0.05$)

para comparação do contraste entre as médias. Os dados também foram submetidos à análise multivariada aplicando a técnica de análise de componentes principais (ACP), utilizando o software R (versão 3.3.2).

Resultados e Discussão

A estatística descritiva dos atributos microbiológicos demonstram que o teor de carbono orgânico total (COT) compõe uma distribuição, cuja mediana é 2% maior que a média, mostrando ser uma distribuição assimétrica, conforme o valor negativo do coeficiente de assimetria (Tabela 2). Apesar de ser constituído de repetições de campo, com manejos muito distintos, o COT teve distribuição considerada normal pelo teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis microbiológicas, a média foi sempre maior que a mediana, logo, sua distribuição é simétrica, apesar da RBS e $qMIC$ não apresentar distribuição considerada normal.

Houve diferença significativa entre os manejos avaliados para COT, CBM, $qMIC$ e FOSF (Tabela 3). O COT apresentou média superior a $10,0 \text{ g dm}^{-3}$ para

Tabela 2. Estatística descritiva para atributos microbiológicos do solo na região oeste do Estado do Paraná na soma das áreas sob sistema agropastoril (AG), cultivo mínimo (CM), pastagem (PA), plantio convencional (PC) e área de floresta primária (FP) (profundidade 0-20 cm)

	COT g dm ⁻³	CBM mg kg ⁻¹	RBS mg kg h ⁻¹	qCO ₂ mg CO ₂ mg ⁻¹ CBM dia ⁻¹	qMIC %	FOSF mg <i>p</i> -nitrofenol kg ⁻¹ solo h ⁻¹
Mínimo	4,4	10,9	0,001	0,001	0,07	605,8
Máximo	16,9	371,8	0,947	2,092	3,83	6546,2
1°Quartil	7,9	25,8	0,080	0,006	0,17	1081,2
Mediana	14,4	59,6	0,231	0,087	0,72	1670,4
Média	12,1	107,1	0,242	0,216	1,19	2357,6
3°Quartil	15,9	187,5	0,314	0,187	1,53	2981,4
Assimetria	-0,6	1,1	1,711	3,911	1,14	1,1
Curtose	-1,3	0,7	3,976	16,32	0,02	0,4

COT= Carbono orgânico total; CBM = carbono da biomassa microbiana do solo; RBS = respiração basal do solo; qCO₂= quociente metabólico; qMIC = quociente microbiano e FOSF = fosfatase ácida.

os manejos de FP, PA e PC diferenciando-se dos demais sistemas de manejos. O alto valor de COT no solo da área FP está relacionado ao maior acúmulo de serapilheira (dados não apresentado), constituída de folhas e outros materiais vegetais, que representam a principal fonte de C do solo, bem como à eficiente ciclagem de nutrientes que ocorre nessas áreas (Toledo et al., 2002). Já nos ecossistemas de vegetação rasteira, como as pastagens (PA), a morte das raízes pode representar a principal fonte de C (Moreira e Siqueira, 2006). De acordo com Paustian et al. (2000), as gramíneas forrageiras apresentam a capacidade de aumentar o estoque e distribuir o C na subsuperfície do solo.

Na área de PC, diferentemente dos resultados descritos por Campos et al. (2013), Eleftheriadis & Turrión (2014) e Mazzoncini et al. (2016), o COT não apresentou diferença significativa entre as áreas FP e PA (Tabela 3). Este resultado foi atribuído as aplicações de dejetos suíno que aumentam o carbono orgânico no solo (Balota et al., 2011; Mafra et al., 2014), e da capacidade do solo em incorporar resíduos vegetais (no caso palhada de milho) na camada superficial do solo, conforme verificado na descrição de uso do solo desta área (Tabela 1).

O CBM variou de 21,8 a 241,6 mg kg⁻¹ na área de PC e FP, respectivamente (Tabela 3). Esses valores são baixos quando comparados à trabalhos desenvolvidos por outros autores, os quais avaliaram as variáveis microbiológicas sob diferentes sistemas.

Valores para CBM de 1080 mg kg⁻¹ em solo de floresta, e, 492 mg kg⁻¹ em solo sob pastagens foram encontrados por Eleftheriadis & Turrión (2014). Goenster et al. (2017), encontraram valores de 213 a 816 mg kg⁻¹ em pastagens e Lourente et al. (2011), na condições de Cerrado, notaram que o CBM em uma área de vegetação nativa foi de 882,7 mg kg⁻¹. Contudo, Maharjan et al. (2017) encontraram valores de 330 mg kg⁻¹ em uma área de cultivo orgânico, 210 mg C kg⁻¹ na de floresta e 205 mg kg⁻¹ no cultivo convencional, valores próximos àqueles observados no presente estudo. Esta variação é relevante, em decorrência do valor de CBM representar a quantidade de fungos, bactérias e outros microrganismos presentes no solo (Anderson, 2003). Neste sentido, observou-se que, nas áreas estudadas sob as condições presenciadas o valor do CBM foi baixo. Novos estudos devem ser realizados nas áreas pois os valores dependem principalmente da época de amostragem.

A RBS não diferiu entre os sistemas de manejos, assim como o qCO₂ (Tabela 3). Entretanto, estes atributos apresentam estreita relação com o CBM do solo. Valores baixos de RBS aliados ao alto CBM na área de AG (Tabela 3), demonstram que neste local a biomassa foi mais eficiente, ou seja, menos C na forma de CO₂ com a respiração acarreta na incorporação de mais C aos tecidos microbianos (Anderson, 2003). Isso também foi confirmado pelos valores de qCO₂, indicando maior acúmulo de carbono no solo (Ferreira et al., 2010).

Na área de PC, o CBM foi baixo com relação inversa ao qCO_2 (Tabela 3), demonstrando que neste local ocorre menor eficiência metabólica, sendo necessária uma respiração mais intensa dos microrganismos do solo para a manutenção da biomassa microbiana. E ainda, o baixo $qMIC$ mostrou que a capacidade de utilização do C foi menor, podendo ser decorrente de uma condição estressante à comunidade microbiana (Zhou et al., 2017). O $qMIC$ na área de AG apresentou elevados valores, diferenciando-se dos demais manejos (Tabela 3), indicando que neste local há matéria orgânica (MO) de melhor qualidade (Wardle, 1994), e, que possui uma biomassa que contribui com o maior acúmulo de C ($qMIC$ 3.37%). Além disso, a maior quantidade de palhada, ausência de revolvimento e deposição de fezes de animais representam aporte significativo de C orgânico, que estimula a atividade da microbiota do solo, corroborando Muniz et al. (2011), ao relatarem que a implantação do sistema de lavoura-pecuária incrementa a atividade microbiana do solo.

A atividade da enzima fosfatase foi maior na área de FP (5111,7 mg *p*-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1}) e PC (2979,3 mg *p*-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1}), que diferiram significativamente entre si. O inverso foi verificado nas áreas de AG, PD e PA, com valores inferiores a 1600 mg *p*-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1} (Tabela 3). Segundo Tabatabai (1994), os microrganismos do solo e as raízes das plantas são os principais responsáveis pela produção das fosfatases ácidas, destarte na FP o ambiente está em equilíbrio dinâmico, e o balanço entre

características interespecíficas do solo favorecem a manutenção e regulação da produção dos compostos metabólicos, como enzimas (Moreira e Siqueira, 2006).

No PC encontrou-se a segunda maior média para atividade da FOSF (Tabela 3), possivelmente em virtude da maior mobilização de solo e incorporação dos resíduos vegetais que pode ter estimulado a atividade microbiológica ocasionada pelas aplicações de dejetos suínos na área que favorecem a microbiota do solo, visto o maior acúmulo de COT, e, conseqüentemente, aumento da atividade da FOSF no solo. O maior conteúdo de COT (14,8 $g\ dm^{-3}$) no PC além de estimular os microrganismos e ser fonte de nutrientes, pode proteger e manter as enzimas do solo em suas formas ativas, pela formação de complexos enzima-compostos húmicos (Deng & Tabatabai, 1997), e isso foi evidenciado neste trabalho, pois houve correlação significativa ($r = +0,74$, $pd \leq 0,001$) pelo método de Spearman entre a FOSF e o teor de COT no solo. Apesar disso, Balota et al. (2011) concluíram que a atividade da fosfatase ácida decresceu com a aplicação de dejetos suíno tanto sob o sistema plantio convencional, como em sistema de plantio direto.

Na análise de componentes principais (ACP), os três primeiros componentes discriminaram 93,6% de todas as informações. No entanto, o componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) compuseram, juntos, 76,3% da variância total dos dados, sendo que o CP1 apresentou 46,4% da variância total e o CP2 29,9% (Figura 1).

O $qMIC$ e o CBM foram as variáveis mais importantes para distribuição dos manejos no CP1

Tabela 3. Atributos microbiológicos do solo na região oeste do Estado do Paraná em áreas sob sistema agropastoril (AG), cultivo mínimo (CM), pastagem (PA), plantio convencional (PC) e área de floresta primária (FP) (profundidade 0-20 cm)

Manejo	COT* $g\ dm^{-3}$	CBM* $mg\ kg^{-1}$	RBS ^{2(ns)} $mg\ kg\ h^{-1}$	qCO_2 ^{1(ns)} $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ CBM\ dia^{-1}$	$qMIC$ ² %	FOSF* $mg\ p\text{-nitrofenol}\ kg^{-1}\ solo\ h^{-1}$
FP	16,5 a	241,6 a	0,29	0,03	1,46 b	5111,7 a
PA	15,1 a	32,2 b	0,44	0,66	0,21 c	1254,1 c
PC	14,8 a	21,8 b	0,21	0,26	0,15 c	2979,3 b
CM	8,4 b	54,2 b	0,15	0,09	0,74 b	869,71 c
AG	5,5 b	185,8 a	0,12	0,02	3,37 a	1573,3 c
CV (%)	11,3	41,1	-	-	-	25,1

COT= Carbono orgânico total; CBM = carbono da biomassa microbiana do solo; RBS = respiração basal do solo; qCO_2 = quociente metabólico; $qMIC$ = quociente microbiano e FOSF = fosfatase ácida. *Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^(ns)Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ¹Dados transformados por Box-Cox; ²Estatística não paramétrica por Kruskal Wallis. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

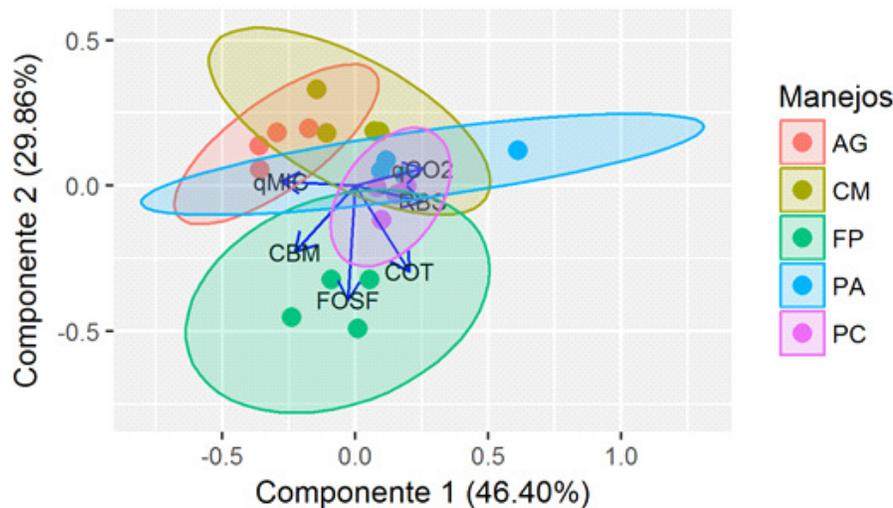


Figura 1. Análise de componentes principais (ACP) para atributos microbiológicos do solo em sistema agropastoril (AG), cultivo mínimo (CM), pastagem (PA), plantio convencional (PC) e área de floresta primária (FP) na região oeste do Estado do Paraná (profundidade 0-20 cm). COT=Carbono orgânico total, CBM= carbono da biomassa microbiana do solo, RBS= respiração basal do solo, qCO_2 = quociente metabólico, $qMIC$ = quociente microbiano e FOSF= fosfatase ácida. As elipses de representam a abrangência de 95% de probabilidade.

(eixo x), enquanto a FOSF e o COT influenciaram fortemente a distribuição dos manejos em torno do eixo y (CP2) (Figura 1). Tal comportamento mostra que a RBS e qCO_2 pouco explicam a distribuição espacial de áreas sob diferentes manejos em gráficos ACP. A distribuição espacial de áreas de regeneração natural foi melhor explicada pela atividade das enzimas avaliadas e pelo carbono orgânico do solo (Medeiros et al., 2017). Verificou-se também, que a área em CM ocupou posição oposta a FP mostrando a distância evidente entre elas quanto aos atributos microbiológicos (Figura 1). Estes resultados concordam com Silveira et al. (2006), que encontraram esta mesma relação estudando áreas em recuperação com área considerada natural.

O COT e os atributos CBM, FOSF e RBS ficaram agrupados nas proximidades dos pontos da FP (Figura 1), indicando uma comunidade microbiana maior e mais ativa, provavelmente pelo acúmulo de material vegetal e decomposição contínua da matéria orgânica. Inversamente, a área CM foi negativamente afetada pela ausência de atributos microbiológicos, possivelmente, por ser uma área em período de entressafra (Tabela 2).

De acordo com Walker et al. (2003), as raízes das plantas sintetizam diferentes compostos, que estimulam a atividade das comunidades microbianas. Caso semelhante, pode ter ocorrido na área de AG, que também estava em período de entressafra (Tabela 2), no entanto, como mostra o gráfico ACP na Figura 1, o $qMIC$ indica que para áreas de AG e PA, o CBM contribuiu muito no acúmulo de carbono no solo. Nesses locais, tanto resíduos vegetais das gramíneas quanto a deposição de fezes animais constituem numa fonte relevante de carbono no solo. Ferreira et al. (2010) verificaram que a utilização do plantio direto foi semelhante a área de floresta em virtude das elevadas concentrações de C orgânico no solo, que promoveram a maior concentração CBM no solo. Cabe destacar, que o gráfico da ACP demonstra nítida separação da FP com o CM e PC, considerando os atributos avaliados, exceto o COT, por razão já discutidas neste trabalho.

Conclusões

A atividade da fosfatase ácida e o quociente microbiano foram os atributos mais sensíveis apontados pela análise de componentes principais para diferenciar os manejos.

O cultivo mínimo e o plantio convencional foram os sistemas de manejos que mais se diferenciaram, em termos de atributos microbiológicos, da área de referência.

O sistema AG que integra a produção agrícola com a pecuária aumenta a quantidade e atividade da biomassa microbiana do solo, além de contribuir com o estoque de carbono. A mobilização do solo realizada no plantio convencional influencia negativamente o compartimento microbiológico do solo.

Literatura Citada

- ANDERSON, T. H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98:285-293.
- BABUJIA, L. C. et al. 2010. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian Oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry* 42:2174-2181.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V. 2011. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage systems. *Acta Scientiarum Agronomy* 33:729-737.
- BHERING, S. B. et al. 2007. Mapa de solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA. 73p.
- CAMPOS, L. P. et al. 2013. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48:304-312.
- CAVIGLIONE, J. H. et al. 2000. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, PR, IAPAR. Disponível em: <http://www.iapar.br/> Acesso em 14 de fevereiro de 2017.
- DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils- III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology and Fertility of Soils* 24:141-146.
- ELEFThERIADIS, A.; TURRIÓN M. B. 2014. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. *European Journal of Soil Biology* 62:138-144.
- FERREIRA, E. P. B. et al. 2010. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. *Revista Ciência Agronômica (Brasil)* 41:177-183.
- FERREIRA, E. P. B., STONE, L. F., MARTIN-DIDONET, C. C. 2017. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. *Revista Ciência Agronômica (Brasil)* 48:22-31.
- GOENSTER, S. et al. 2017. Soil microbial indicators across land use types in the river oasis Bulgan sum center, Western Mongolia. *Ecological Indicators* 76:111-118.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. 2006. Plano de manejo do Parque Estadual de São Camilo, Curitiba, PR, IAP. 162p.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: a method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8:209-213.
- KARLEN, D. L. et al. 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy Journal* 98:484-495.
- LEEUWEN, J. P. van et al. 2017. Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology* 79:14-20.
- LI, Y. et al. 2013. Assessing the soil quality of alpine grasslands in the Qinghai-Tibetan Plateau using a modified soil quality index. *Environmental Monitoring and Assessment* 185:8011-8022.
- LIANG, Q. et al. 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 92:21-33.
- LOPES, A. A. C. et al. 2013. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of American Journal* 77:461-472.
- LOURENTE, E. R. P. et al. 2011. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Brasil)* 41:20-28.
- MAFRA, M. S. H. et al. 2014. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquido de

- suínos e cultivado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49: 630-638.
- MAHARJAN, M. et al. 2017. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. *Applied Soil Ecology* 113:22-28.
- MAZZONCINI, M. et al. 2016. Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 77:156-165.
- MEDEIROS, E. V. et al. 2017. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. *Catena* 151:137-146.
- MOREIRA, A. et al. 2013. Phosphorus dynamics in the conversion of a secondary forest into a rubber tree plantation in the Amazon rainforest. *Soil Science* 178:618-625.
- MOREIRA, A. et al. 2011. Soil fertility, mineral nitrogen, and microbial biomass in upland soils of the central amazon under different plant covers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42:694-705.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras. 729p.
- MUNIZ, L. C. et al.; 2011. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1262-1268.
- NOGUEIRA, M. A. et al. 2006. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115:237-247.
- OLIVEIRA, S. P. et al. 2016. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. *Catena* 137:508-516.
- PAUSTIAN, K. et al. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48:147-163.
- PAVAN, M. A. et al. 1992. *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina, PR, IAPAR. 40p.
- SILVA, C. F. D. et al. 2012. Total organic carbon, microbial biomass and soil enzyme activity areas of agriculture, forestry and grassland in the middle Valley of Paraíba do Sul River (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1680-1689.
- SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. 2006. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. *Cerne (Brasil)* 12:48-55.
- TABATABAI, M. A. 1994. Soil Enzymes. In: Weaver, R. W. eds. *Methods of Soil Analysis: Part 2—Microbiological and Biochemical Properties, (methodsofsoilan2)*. Madison, Soil Science Society of America. pp.775-833.
- TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. 2002. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. *Ciência Florestal (Brasil)* 12:9-16.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19:703-707.
- WARDLE, D. A. 1994. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: Hungria, M.; Araújo, R.S. eds. *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília, DF, EMBRAPA-CNPAF; EMBRAPA SOJA. pp.419-436.
- WALKER, T. S. et al. 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant physiology* 132:44-51.
- XU, S. et al. 2017. Soil microbial community responses to long-term land use intensification in subtropical grazing lands. *Geoderma* 293:73-81.
- ZANINETTI, R.A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. 2016. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringaís na Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51:1061-1068.
- ZHOU, H. et al. 2017. Changes in microbial biomass and the metabolic quotient with Biochar addition to agricultural soils: A Meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239:80-89.