

DIVISÃO 2 - PROCESSOS E PROPRIEDADES DO SOLO

Comissão 2.1 - Biologia do solo

CARBONO ORGÂNICO TOTAL, BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO DE ÁREAS AGRÍCOLAS, FLORESTAIS E PASTAGEM NO MÉDIO VALE DO PARAÍBA DO SUL (RJ)⁽¹⁾

Cristiane Figueira da Silva⁽²⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽³⁾, Divino Levi Miguel⁽⁴⁾, Júlio César Fernandes Feitosa⁽⁵⁾, Arcângelo Loss⁽⁶⁾, Carlos Eduardo Gabriel Menezes⁽⁷⁾ & Eliane Maria Ribeiro da Silva⁽⁸⁾

RESUMO

Características do solo, como o carbono orgânico total (COT), a biomassa microbiana e a atividade enzimática, são influenciadas por diversos fatores e têm sido apontadas como indicadores adequados de alterações provocadas por diferentes sistemas de uso e manejo do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o COT, a biomassa microbiana e a atividade enzimática de um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico de áreas agrícolas, florestais e de pastagem, no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). Os sistemas avaliados foram: agricultura anual (AgAn); agricultura perene (AgP); pasto; floresta secundária em estágio inicial de sucessão (FSEI); floresta secundária em estágio médio de sucessão (FSEM); e floresta secundária em estágio avançado de sucessão (FSEA). Foram coletadas amostras de terra na camada de 0-5 cm, em duas épocas distintas (úmida e seca), e analisados o COT e as propriedades biológicas: C da biomassa microbiana - CBM; N da biomassa microbiana - NBM; respiração basal - RB; quociente metabólico - qCO_2 ; quociente microbiano - $qMIC$; e atividade das enzimas arilsulfatase, β -glicosidase e fosfatase ácida. As áreas agrícolas apresentaram redução no COT e nas propriedades

⁽¹⁾ Projeto desenvolvido com recursos da FAPERJ. Recebido para publicação em 09 de janeiro de 2012 e aceito em 15 de outubro de 2012.

⁽²⁾ Pós-doutoranda do curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. BR 465, km 7. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista CNPq. E-mail: cfigueirasilva@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Associado III, Departamento de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq e Cientista do Nosso Estado da FAPERJ. E-mail: gervasio@ufrj.br

⁽⁴⁾ Doutorando do curso do CPGA-CS da UFRRJ. E-mail: dlmiguel@uesb.br

⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia, UFRRJ. Bolsista de Iniciação Científica/CNPq. E-mail: julionrtfeitosa@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Professor Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, CEP 88034-000. E-mail: arcangeloloss@yahoo.com.br

⁽⁷⁾ Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilo Peçanha. CEP 27197-000 Pinheiral (RJ). E-mail: carlos.menezes@ifrj.edu.br

⁽⁸⁾ Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, Rodovia BR 465, km 7. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: eliane@cnpab.embrapa.br

biológicas (atividade enzimática e carbono e nitrogênio da biomassa microbiana) do solo quando comparadas ao pasto e às áreas florestais. Com as análises de componentes principais, foi possível separar os sistemas agrícolas e os sistemas florestais e de pasto. Observou-se que, em ambas as épocas, a FSEM e o pasto estiveram associados ao COT e à maioria das variáveis biológicas, ao contrário dos sistemas agrícolas.

Termos de indexação: arilsulfatase, β -glicosidase, fosfatase ácida, quociente metabólico, respiração basal.

SUMMARY: 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)

Soil characteristics such as total organic carbon (TOC), microbial biomass and enzymatic activity are influenced by many factors and have been suggested as suitable indicators of changes caused by different land use systems and soil management. The objective of this study was to evaluate the COT, microbial biomass and enzymatic activity of a typical Inceptisol in agricultural, forest and grassland areas in the Middle Valley of the Paraíba do Sul river (RJ). The systems evaluated were: annual agriculture (A_{an}); perennial agriculture (P_{ag}), pasture, early secondary forest (SFEA) intermediate secondary forest (SFSM) in advanced succession stage (SFEA). Soil samples were collected from the 0-5 cm layer in two different seasons (dry and rainy) to determine the total organic carbon (TOC) and biological properties (microbial biomass - CBM; microbial biomass N- NBM; basal respiration - RB; metabolic quotient - qCO₂; microbial quotient - qMIC, and activity of the enzymes arylsulfatase, β -glucosidase and acid phosphatase). The soil of the agricultural areas showed a reduction in the TOC and biological properties (enzyme activity and carbon and microbial biomass nitrogen) compared to pasture and forest. The principal component analysis distinguished the agricultural systems from the forest and pasture systems. It was observed that in both periods, the SFSM and pasture were associated with the COT and most biological factors, as opposed to the agricultural systems.

Index terms: arylsulfatase, β -glucosidase, acid phosphatase, metabolic quotient, basal respiration.

INTRODUÇÃO

No Estado do Rio de Janeiro, estima-se que a Mata Atlântica originalmente cobria em torno de 98 % de seu território. Atualmente, a cobertura original restringe-se a menos de 20 %, encontrando-se bastante fragmentada e desconectada, em áreas de difícil acesso, circundadas por extensas matrizes formadas de pastos, capoeiras, monoculturas e áreas urbanas (SOS/INPE, 2002)

Na região do Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ) (MVPS), com o ciclo do café e a ocupação imobiliária, houve intensas transformações da paisagem e degradação do solo. De acordo com Menezes (2008), na porção inferior da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal (na região do MVPS), a ocupação ocorrida em 1985 por 176 famílias de posseiros (áreas agrícolas em torno de 5 ha por propriedade) não considerou a aptidão das terras e a necessidade de uma política voltada à definição de seu uso adequado. Esse fato intensificou os processos de degradação ambiental já existentes. A maioria dessas

pequenas propriedades foi utilizada para uma agricultura predominantemente de subsistência, caracterizada pelo policultivo nas encostas, com práticas de manejo que aumentaram a exposição direta do solo aos agentes erosivos (Menezes, 2008).

A conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas pode promover alterações nos atributos edáficos, tendo em vista a estreita integração da cobertura vegetal e o sistema físico, químico e biológico do solo (Ferreira et al., 2007). Diversos atributos mensuráveis do sistema (bioindicadores) têm sido selecionados e empregados em programas de monitoramento/gestão da qualidade do solo, visando caracterizar os valores ecológicos a serem protegidos ou recuperados, com base na análise de risco ou no acompanhamento do ecossistema (Silveira et al., 2009).

A biomassa microbiana é o principal componente da matéria orgânica viva do solo e, junto ao carbono orgânico, vem sendo utilizada como indicador de alterações e de qualidade do solo. Esse uso deve-se,

principalmente, à sua relação com as funções ecológicas do ambiente, bem como à capacidade que ela apresenta de refletir as mudanças no uso do solo (Jackson et al., 2003; Araújo & Melo, 2010). Kaschuk et al. (2011) quantificaram, pela meta-análise, os efeitos de diferentes sistemas de uso do solo sobre a biomassa e atividade microbiana, em biomas brasileiros. Estes autores observaram que, em todos os biomas, a substituição da vegetação natural por práticas agrícolas alterou o carbono da biomassa microbiana (CBM), com redução em torno de 30 %.

A respiração basal (RB), resultante do metabolismo da maioria dos microrganismos no solo, e o quociente metabólico (qCO_2), que representa a quantidade de $C-CO_2$ liberada por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo, também têm apresentado variações sensíveis, podendo ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, em razão dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Colozzi Filho et al., 2001; Mercante, 2001; Mercante et al., 2008). Avaliando a RB, em Vazante (MG), Assis Junior et al. (2003) encontraram os maiores valores desse atributo em áreas de mata nativa e pastagem, e os menores para sistemas de monoculturas e área desmatada. De acordo com Islam & Weil (2000), altas taxas de respiração podem significar distúrbio ecológico ou alto nível de produtividade do ecossistema.

Outro aspecto importante a se considerar é a atividade enzimática do solo, uma vez que as enzimas têm participação essencial nos ciclos dos elementos no solo; como elas são sintetizadas, principalmente, pelos organismos, as condições que favorecem a atividade microbiana, como a presença de vegetação (rizosfera), também propiciam maior atividade enzimática (Carvalho, 2005). Araújo & Monteiro (2007) destacam que as enzimas participam do catabolismo biológico dos componentes orgânico e mineral do solo, sendo sua atividade relacionada com a matéria orgânica, as propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana.

Em razão da importância dos atributos biológicos para os processos que ocorrem no solo, verifica-se que estudos a respeito da quantidade e atividade da biomassa microbiana, bem como da atividade enzimática, podem fornecer subsídios para o melhor uso da terra (D'Andréa et al., 2002).

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o carbono orgânico total, a biomassa microbiana e a atividade enzimática de um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico de áreas agrícolas, florestais e de pastagem, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Pinheiral, região do Médio Paraíba Fluminense, na sub-bacia do

Ribeirão Cachimbal. A área está localizada entre as latitudes de 22° 33' S e 22° 38' S e entre as longitudes de 43° 57' W e 44° 05' W. O clima da região, de acordo com Köppen (1938), foi classificado como Am - clima tropical chuvoso, de monção, com inverno seco, sendo as médias de temperatura e precipitação pluvial, do período de novembro de 2009 a junho de 2010, de 22,1 °C e 57,5 mm, respectivamente. Para o estudo, foram selecionadas seis áreas: floresta secundária em estágio inicial de sucessão (FSEI), floresta secundária em estágio médio de sucessão (FSEM), floresta secundária em estágio avançado de sucessão (FSEA), pasto, agricultura perene (AgP) e agricultura anual (AgAn) (Quadro 1). Todas as áreas estão localizadas na posição de terço superior de encosta, sendo o solo classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, cujas características químicas e físicas encontram-se no quadro 2.

Em cada uma das unidades de estudo foi delimitada uma parcela de 20 x 20 m, onde foram coletadas amostras de solo, em duas épocas distintas (úmida e seca). Em cada uma das áreas foram coletadas três amostras compostas na camada de 0-5 cm; cada amostra composta foi formada a partir de cinco amostras simples. As amostras foram analisadas quanto ao carbono orgânico total (COT) (Yeomans & Bremner, 1988) e às características microbiológicas.

A caracterização microbiológica foi feita imediatamente após a coleta, sendo obtida pela análise dos seguintes atributos: carbono da biomassa microbiana (CBM), avaliado pelo método de fumigação-extração conforme Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988); nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), segundo Brookes et al. (1985); respiração basal do solo (RB), de acordo com Jenkinson & Powlson (1976). O quociente metabólico (qCO_2) foi determinado pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de CBM (Anderson & Domsch, 1985, 1990), e o quociente microbiano ($qMIC$), pela razão entre o CBM e o COT do solo. A análise enzimática do solo foi realizada com base nas enzimas: arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase (Tabatabai, 1994).

Os dados foram avaliados quanto à homocedastia, pelo teste de Cochran (Snedecor & Cochran, 1989), e distribuição normal dos resíduos, pelo teste de Lilliefors (Campos, 1979). Posteriormente, foram submetidos à análise de variância e ao teste de Scott-Knott (Scott & Knott, 1974) a 5 %. As relações entre os atributos edáficos foram determinadas por análise de correlação de Pearson. Esses testes e análises foram realizados com o auxílio dos programas estatísticos SAEG-5.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas - Universidade Federal de Viçosa) e SISVAR (Ferreira, 2000).

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada por meio do XLSTAT, cujas variáveis foram as que apresentaram correlações de Pearson maiores que 0,7 entre si, relacionadas a seguir: COT, $qMIC$, NBM, CBM, respiração basal, arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase. A ACP é utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar

Quadro 1. Histórico e descrição dos sistemas de uso do solo na região do Médio Vale Paraíba do Sul (RJ)

Sigla	Histórico e descrição da área ⁽¹⁾
FSEI	Floresta secundária estágio inicial: cobertura florestal pouco densa, característica de estágio inicial de sucessão (Conama, 1994), originada por utilização da área até 1985 como pastagem espontânea, manejada por roçadas anuais e queimadas ocasionais, quando foi ocupada por pequenos agricultores que a cercaram, permitindo assim a regeneração florestal.
FSEM	Floresta secundária estágio médio: em área contígua e de mesma cota que a FSEI e que, até 1985, se encontrava sob cobertura de pasto espontâneo com formação inicial de capoeira, sendo mantida protegida até os dias atuais, o que permitiu o desenvolvimento sucessional típico do estágio médio.
FSEA	Floresta secundária estágio avançado: cobertura florestal densa e mais bem estruturada do que as anteriores, o que permite enquadrá-la neste estágio sucessional (Conama, 1994) - provavelmente, a sucessão teve início após a decadência da cafeicultura na região e constitui o fragmento mais antigo da porção inferior da sub-bacia.
Pasto	Explorado com pastagem espontânea desde a década de 1950, foi formada na década de 1990 com <i>Brachiaria decumbens</i> e, a partir daí, mantida por meio de roçadas anuais e com a prática de queimada restringida - com o decorrer dos anos ressurgiu nessa paisagem a gramínea conhecida como grama-batatais (<i>Paspalum notatum</i>), que passou a coexistir com a braquiária introduzida.
AgP	Agricultura perene: até a década de 1990 esta área foi utilizada como pastagem. Após esse período seu uso se voltou às atividades agrícolas com a finalidade de subsistência (milho e feijão); nos dias atuais encontra-se com cultivo de citros. O sistema de preparo é o convencional (sem adubação e sem calagem), com capinas manuais periódicas.
AgAn	Agricultura anual: utilizada para agricultura de subsistência (milho, feijão, mandioca) há aproximadamente 20 anos; atualmente encontra-se com a cultura de mandioca. O sistema de preparo é o convencional (sem adubação e sem calagem), com capinas manuais periódicas.

⁽¹⁾ Adaptado de Menezes (2008).

Quadro 2. Características químicas e físicas de um Cambissolo Háplico em áreas de agricultura, pasto e floresta secundária em três estádios sucessionais, na profundidade de 0-5 cm

Cobertura vegetal	pH (H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Areia	Silte	Argila
		mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³				g kg ⁻¹		
FSEA	4,08	19,52	0,18	2,33	1,07	1,07	650	110	240
FSEM	5,89	11,15	0,59	5,27	3,47	0,00	540	170	290
FSEI	5,82	14,56	0,39	2,03	1,77	0,60	490	180	330
Pasto	5,21	15,49	0,63	3,07	3,77	0,07	550	190	260
AgP	5,42	8,82	0,20	1,80	2,40	0,17	630	140	230
AgAn	5,49	8,20	0,23	2,27	3,43	0,10	620	150	230

F=floresta; S=secundária; E=estádio; A=avançada; M=médio; I=inicial; Ag=agricultura; An=anual; P=perene.

a análise por meio do gráfico do círculo de correlação (Herlihy & McCarthy, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico total (COT) diferiram entre as áreas em estudo, sendo os maiores valores encontrados nas áreas de floresta e de pasto, e os menores, nas áreas agrícolas, em ambas as épocas avaliadas (úmida e seca). Na época úmida, não foram

observadas mudanças significativas no COT entre as áreas florestais e o pasto (Quadro 3), padrão também observado por D'Andréa et al. (2004). Na época seca, as áreas florestais em estádios médio e inicial apresentaram teores de COT inferiores aos observados na área de pasto.

Pode-se verificar que os valores médios de COT (21,3 g kg⁻¹), observados nas áreas florestais (épocas úmida e seca) foram superiores em, aproximadamente, 46 e 68 % em relação à média dos valores das duas épocas encontrados nas áreas de AgP (14,6 g kg⁻¹) e AgAn (12,7 g kg⁻¹), respectivamente. Os maiores teores de COT nas

Quadro 3. Carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana do solo, carbono orgânico total do solo (COT), respiração basal (RB) microbiana, quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$), e atividade enzimática de um Cambissolo Háplico sob diferentes coberturas vegetais em três estádios sucessionais, na camada de 0-5 cm, avaliados nas épocas úmida e seca

Cobertura vegetal	CBM		NBM		COT	
	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca
	mg kg ⁻¹ de solo				g kg ⁻¹	
FSEA	312 aA	386 bA	79 cA	37 bB	21,2 aA	24,1 aA
FSEM	417 aA	402 bA	149 bA	48 bB	23,7 aA	18,6 bB
FSEI	195 bB	395 bA	73 cA	35 bB	24,2 aA	16,6 bB
Pasto	423 aB	689 aA	179 aA	80 aB	23,9 aA	21,1 aA
AgP	187 bA	269 cA	66 cA	22 cB	16,7 bA	12,2 cA
AgAn	133 bA	207 cA	35 dA	6 cB	14,2 bA	9,9 cA
	RB		qCO_2		$qMIC$	
	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca
	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo h ⁻¹		mg C-CO ₂ mg CBM ⁻¹ h ⁻¹		%	
FSEA	2,30 cA	1,24 aB	7,42 bA	3,25 aB	1,5 aA	1,6 aA
FSEM	3,12 aA	0,83 bB	8,00 bA	2,16 aB	1,8 aA	2,2 aA
FSEI	2,23 cA	0,78 bB	14,52 aA	1,97 aB	0,8 bB	2,4 aA
Pasto	2,72 bA	0,83 bB	6,59 bA	1,23 aB	1,7 aB	3,3 aA
AgP	0,76 dA	0,70 bA	5,13 bA	2,41 aB	1,1 bB	2,2 aA
AgAn	0,86 dA	0,52 bB	6,53 bA	2,18 aB	0,9 bB	2,2 aA
	Arilsulfatase		Fosfatase ácida		β -glicosidase	
	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca
	μ g <i>p</i> -nitrofenol g ⁻¹ solo h ⁻¹					
FSEA	35,4 dA	22,6 dB	38,9 bA	35,8 bA	14,5 aA	17,1 aA
FSEM	92,4 aA	54,6 bB	54,2 aA	46,9 aA	17,2 aA	19,7 aA
FSEI	66,0 cA	39,2 cB	41,7 bA	47,1 aA	17,5 aA	18,8 aA
Pasto	79,2 bA	69,3 aB	41,3 bA	47,9 aA	17,5 aA	18,9 aA
AgP	24,3 eA	20,4 dA	27,4 cA	24,9 cA	11,1 bA	12,2 bA
AgAn	13,1 fA	15,4 dA	25,3 cA	23,6 cA	9,3 bA	10,3 bA

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5 %. F=floresta; S=secundária; E=estádio; A=avançada; M=médio; I=inicial; Ag=agricultura; An=anual; P=perene.

áreas florestais e de pasto podem estar associados à maior quantidade de resíduos vegetais produzidos pelas espécies, bem como à eficiente ciclagem de nutrientes que ocorre nessas áreas (Toledo et al., 2002). Além disso, as gramíneas são plantas C4 e, devido à sua fisiologia, podem contribuir com maior aporte de C no solo (Barreto et al., 2006). Por outro lado, o menor teor de COT nas áreas agrícolas demonstra o impacto negativo ocorrido no solo após a conversão da floresta em agricultura, podendo ocasionar menor ciclagem de nutrientes nessas áreas em comparação com as áreas florestais. Fontana et al. (2011) observaram redução nos teores de COT em área de cultivo de mandioca em relação à floresta, em Ubatuba (SP). Os autores associaram esse padrão à baixa adição de resíduos pela cultura, bem como ao efeito da substituição da vegetação nativa pela agricultura, com perda de matéria orgânica a cada cultivo.

O efeito da época de coleta para este atributo foi observado nas áreas de FSEM e FSEI, tendo em vista que os teores de COT foram cerca de 27 e 46 %, respectivamente, mais elevados na época úmida em relação a seca. Menezes et al. (2010), avaliando o aporte de serapilheira (AS) nessas mesmas áreas, ao longo de um ano, observaram tendência de aumento no AS ao final do período seco. Esse fato pode refletir em maiores teores de COT na época úmida, tendo em vista a maior atividade microbiana nesse período (Quadro 3), o que pode aumentar as taxas de decomposição da serapilheira e incorporação de COT ao solo.

Quanto às características microbiológicas, verificou-se que o teor de C da biomassa microbiana (CBM) avaliado na época úmida variou, na média, de 423 mg C kg⁻¹ na área de pasto a 133 mg C kg⁻¹ na AgAn. Já na época seca, os valores estiveram entre 689 mg C kg⁻¹ na área de pasto e 207 mg C kg⁻¹ na

AgAn. Em ambas as estações observaram-se diferenças significativas entre os fragmentos florestais e as áreas agrícolas, à exceção da FSEI na época úmida, que foi semelhante (Quadro 3).

Na época úmida, verificou-se que a atividade agrícola (AgAn e AgP) reduziu o CBM da ordem de 63 e 49 %, respectivamente, em relação à média (365 mg C kg⁻¹) dos valores encontrados para as áreas de FSEA e FSEM. Na época seca, as reduções foram de 47 e 32 % (AgP e AgAn, respectivamente), em relação à média de 394 mg C kg⁻¹ observada nas áreas florestais (FSEA e FSEM). Este padrão indica que o possível revolvimento do solo durante as atividades agrícolas (capinas periódicas) pode ter diminuído a biomassa pelo dano direto às células microbianas (Matias et al., 2009). Além disso, é provável que as adições de C oxidável nas áreas agrícolas não estejam sendo suficientes para atender à demanda para a manutenção da biomassa existente, o que pode promover o decréscimo acentuado observado nos valores de CBM (D'Andréa et al., 2002). Nas áreas sob FSEA e FSEM, a ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística podem ser alguns dos fatores responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana (Bandick & Dick, 1999; Menezes, 2008; Silva et al., 2010).

A área de pasto também apresentou os maiores valores de CBM em relação às áreas agrícolas, em ambas as épocas avaliadas (Quadro 3). Os aumentos foram da ordem de 164 e 189 % em relação à média dos valores observados nas áreas de AgAn e AgP, nas épocas úmida (160 mg kg⁻¹) e seca (238 mg kg⁻¹), respectivamente.

Nas áreas sob cultivo, além das reduções no CBM, também foram observadas reduções nos teores de N da biomassa microbiana (NBM) do solo (Quadro 3). Em relação à área de FSEM, as reduções no NBM foram, respectivamente, de 76 e 55 % (época úmida) e de 87 e 54 % (época seca), para as áreas de cultivo anual e perene. O mesmo padrão foi observado quando se comparou a AgAn com as áreas de FSEA e FSEI, sendo as reduções promovidas pela atividade agrícola de aproximadamente 50 % na época úmida e 80 % na época seca. Avaliando a biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos, Alves et al. (2011) observaram que práticas agrícolas (pecuária, lavoura e integração lavoura-pecuária), quando comparadas à vegetação nativa, podem afetar o solo, causando distúrbios na comunidade microbiana, que podem, por sua vez, influenciar os processos biogeoquímicos que nele ocorrem.

No tocante à variação entre as épocas de coleta, para o CBM, somente nas áreas de FSEI e pasto observou-se diferença significativa. Os maiores valores foram verificados na época seca em relação à úmida. Por outro lado, houve redução do NBM e da respiração basal (RB), na maioria das áreas avaliadas, na época seca quando comparada à úmida. Avaliando o CBM

em áreas de floresta, capoeira e pasto no Acre, Zatorre (2009) não observou diferença significativa entre as épocas seca e úmida.

No que se refere à RB, na época úmida, observou-se que as áreas de pasto e os três fragmentos florestais apresentaram maiores valores em comparação com as áreas de agricultura anual e perene (Quadro 3). A maior liberação de CO₂ nas áreas florestais pode estar relacionada à constante incorporação de resíduos (de forma natural), com acúmulo de matéria orgânica, promovendo alta biomassa e atividade biológica sobre esse material (Islabão et al., 2011). Verificou-se correlação positiva e significativa ($r=0,95$; $p=0,002$) entre a RB e o COT do solo. Na área de pasto, a rápida ciclagem de nutrientes promovida pela alta renovação de biomassa vegetal e pela atividade biológica mais intensa pode ter promovido as taxas mais elevadas de RB.

Na época seca, as variações na RB entre as áreas estudadas foram menores, tendo em vista que somente a área de FSEA diferiu das demais, apresentando maiores valores (Quadro 3).

Em relação ao quociente metabólico (qCO_2), não foram observadas diferenças significativas entre as áreas, na época seca (Quadro 3). No entanto, na época úmida, quando foram comparados os três fragmentos florestais, aquele que apresentou maior valor desse índice foi a área de FSEI (Quadro 3). Maiores valores de qCO_2 indicam maiores perdas de C no sistema na forma de CO₂ por unidade de C microbiano (Melloni et al., 2008). Segundo Martins et al. (2010), aumentos nos valores de qCO_2 estão relacionados à resposta à mineralização da biomassa microbiana. Dessa forma, observa-se que o padrão de resposta à mineralização da BMS das áreas agrícolas encontra-se similar ao das áreas florestais (FSEA e FSEM) e da área de pasto, tanto na época úmida quanto na seca, visto que não apresentaram diferença significativa entre si para a variável qCO_2 .

Quanto ao quociente microbiano ($qMIC$), não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas avaliadas, na época seca. Contudo, na época úmida, observaram-se maiores $qMIC$ nas áreas FSEA, FSEM e pasto, cujos valores foram superiores a 1 % do C do solo (Quadro 3). Já as áreas agrícolas (AgAn e AgP) e a FSEI apresentaram os menores valores para essa variável, os quais foram inferiores a 1 %, à exceção da AgP (Quadro 3). Jenkinson & Ladd (1981) relatam que em condições normais o CBM representa de 1 a 4 % do COT; de modo geral, valores de $qMIC$ inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana. No entanto, Santos (2004) destaca que, em condições tropicais, nem sempre valores de $qMIC$ inferiores a 1 % indicam comprometimento das funções microbianas do solo.

Verificou-se que o qCO_2 aumentou da época seca para a úmida, enquanto o $qMIC$ sofreu redução, na

maioria das áreas (Quadro 3). Essa redução pode ser decorrente da mineralização da biomassa microbiana, reduzindo assim sua comunidade (Martins et al., 2010).

Quanto à atividade das enzimas arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase, estas diferiram entre as áreas avaliadas, em ambas as épocas de coleta (Quadro 3). Com exceção da atividade da arilsulfatase na época seca, as demais enzimas apresentaram padrão semelhante, com maior atividade nas áreas de floresta e pasto em relação às áreas agrícolas. Somente a enzima arilsulfatase apresentou variação entre as épocas: foram observados valores mais elevados na época úmida em relação à seca, na maioria das áreas em estudo.

A atividade da arilsulfatase, na época úmida, variou de 13,2 a 92,4 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$ nas áreas de AgAn e FSEM, respectivamente. Na época seca, as variações foram de 15,4 a 69,3 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$, respectivamente, nas áreas de AgAn e pasto (Quadro 3). Em relação à média (73,5 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$) dos valores da atividade da arilsulfatase observados na área FSEM nas duas épocas de coleta, verificou-se que a agricultura reduziu a atividade desta enzima em torno de 80 e 70 %, para AgAn e AgP, respectivamente. De acordo com Nogueira & Melo (2003), a atividade da arilsulfatase no solo decresce com a redução do teor de matéria orgânica, e esse padrão deve-se, principalmente, ao fato de essa constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, os quais são substratos da enzima. Observou-se correlação positiva e significativa entre o COT e a atividade da arilsulfatase ($r=0,90$; $p=0,01$) apenas na época úmida.

No tocante à fosfatase ácida, verificou-se, na época úmida, que a área de FSEM apresentou maior atividade em relação às demais, e na época seca esta área se igualou às áreas FSEI e de pasto (Quadro 3). Diversos trabalhos têm demonstrado que as fosfatases apresentam correlações positivas com o teor de COT e têm sua atividade aumentada em ambientes preservados, em relação aos cultivados (Nunes, 2003; Carneiro et al., 2008; Jakelaitis et al., 2008). Neste estudo observou-se correlação positiva e significativa da fosfatase ácida com os teores de COT apenas na época úmida ($r=0,88$; $p=0,01$). Além disso, observaram-se correlações entre a atividade desta enzima e os teores de CBM ($r=0,78$; $p=0,03$, para ambas as épocas).

Para a enzima β -glicosidase, pode-se verificar que na AgAn, nas duas épocas avaliadas, houve redução em sua atividade em torno de 44 % quando comparada à média (17,5 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$) dos valores observados para as áreas florestais. O mesmo foi verificado para a área de AgP, sendo a redução de 33 %. Observou-se correlação positiva entre a β -glicosidase e os teores de COT ($r=0,79$, $p=0,03$; $r=0,99$; $p=0,00$) e CBM ($r=0,74$, $p=0,05$; $r=0,73$; $p=0,05$), nas épocas seca e úmida, respectivamente.

Como ferramenta para a distinção das áreas estudadas, foram geradas duas componentes

principais (fator 1 e fator 2) para o COT e os atributos biológicos (RB, CBM, qMIC e qCO₂, arilsulfatase, fosfatase ácida, β -glicosidase) em conjunto, tanto para a época úmida quanto para a seca (Figura 1a,b).

Verificou-se, na época úmida, que a distribuição das variáveis selecionadas apresentou variância acumulada de 88,14 % para os eixos F1 e F2; o eixo F1 foi capaz de explicar 66,12 % e o F2, 22,02 % dessa variância (Figura 1a). Na época seca, a variância acumulada foi de 86,55 % para os eixos F1 e F2: o

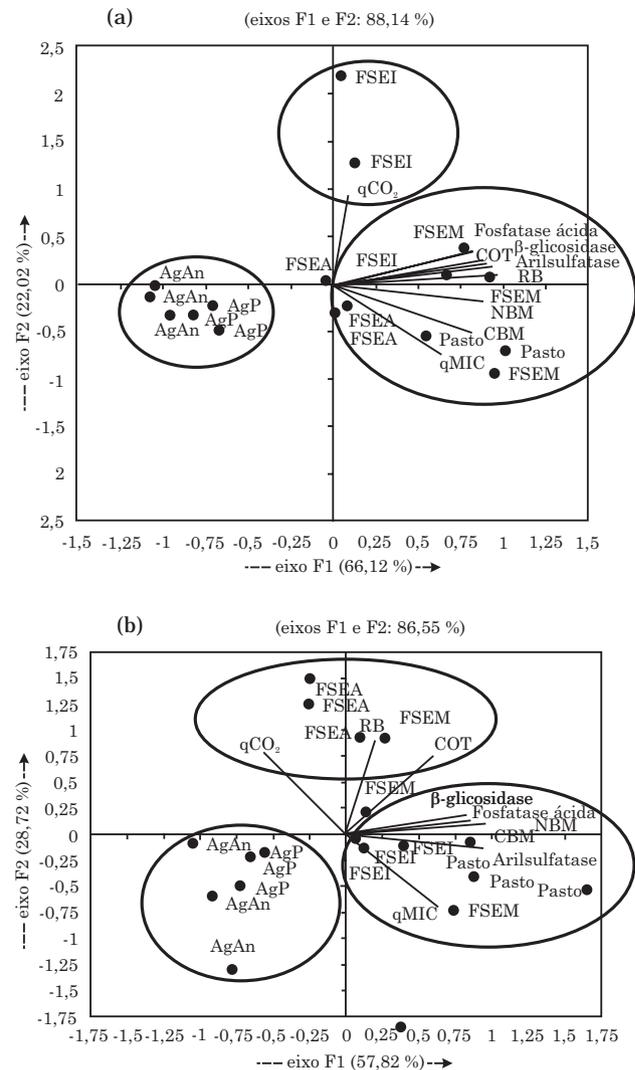


Figura 1. Diagramas de ordenação (a - época úmida; b - época seca) produzidos por análise de componentes principais dos atributos químicos (COT) e microbiológicos e das diferentes áreas em estudo. F=floresta; S=secundária; E=estádio; A=avançada; M=médio; I=inicial; Ag=agricultura; An=anual; P=perene; COT=carbono orgânico total; RB=respiração basal; qMIC=quociente microbiano; NBM=nitrogênio da biomassa microbiana; CBM=carbono da biomassa microbiana.

primeiro eixo F1 explicou 57,82 % e o segundo, 28,72 % (Figura 1b).

Na época úmida, o eixo F1 separou as áreas de FSEM e pasto das áreas de AgAn e AgP. As variáveis que mais contribuíram para essa separação foram arilsulfatase e RB, visto que apresentaram os mais elevados valores de coeficientes de correlações com F1: 0,88 e 0,91, respectivamente (Figura 1a). Na seca, o eixo F1 separou a FSEM, FSEI e pasto das áreas de AgAn, AgP, e as variáveis que apresentaram maiores correlações com esse eixo foram arilsulfatase, CBM e NBM (0,94, 0,94 e 0,95, respectivamente) (Figura 1b).

Em relação ao eixo F2, a variável que mais contribuiu para os valores desse eixo, na época úmida, foi o qCO_2 , com coeficiente de correlação de 0,88 (Figura 1a). Já na época seca foram as variáveis RB, qCO_2 e COT, sendo 0,83, 0,63 e 0,57 os coeficientes de correlação, respectivamente (Figura 1b).

Observa-se na figura 1a (época úmida) que as áreas apresentaram separações distintas. Um primeiro grupo constituiu-se das áreas agrícolas, o qual se posicionou no quadrante inferior esquerdo, ou seja, lado oposto à disposição de todas as variáveis utilizadas nesta análise. O segundo grupo - constituído, principalmente, pelo pasto, FSEM e FSEA - localizou-se entre os quadrantes superior e inferior direito. Este grupo correlacionou-se fortemente com o eixo F1, o qual esteve associado ao COT e aos atributos biológicos. A área FSEI, que ficou isolada das demais, localizou-se no quadrante superior direito, estando associado a variável biológica qCO_2 .

Na figura 1b (época seca), as áreas em estudo apresentaram padrão de distribuição um pouco diferente do da época úmida (Figura 1a), tendo a área FSEA se distanciado das demais, estando posicionada entre os quadrantes esquerdo e direito superior, associada ao COT e às variáveis biológicas qCO_2 e RB. Por outro lado, da mesma forma que na época úmida, as áreas de FSEM, FSEI e pasto estiveram associadas à maioria dos atributos biológicos, ao contrário das áreas agrícolas.

Diante desses resultados (Figura 1a,b), verifica-se a influência negativa dos sistemas agrícolas sob os atributos analisados. Esse fato pode estar relacionado às menores taxas de deposição de material vegetal por esses sistemas, tendo como consequência baixa incorporação de matéria orgânica no solo, o que pode refletir em baixos teores de COT e menor atividade biológica, representada neste trabalho pelas enzimas (fosfatase ácida, arilsulfatase e β -glicosidase) e biomassa microbiana (CBM, NBM, qCO_2 , $qMIC$). Além disso, o revolvimento da camada superficial do solo, pelas sucessivas capinas, torna a matéria orgânica mais suscetível ao ataque microbiano, o que aumenta a taxa de mineralização desta (Costa et al., 2004; Cunha et al., 2012). De acordo com Jakelaitis et al. (2008), a diminuição no COT em solos sob cultivo pode

ser devida ao aumento no consumo do C, prontamente disponível, pela biomassa microbiana.

Por outro lado, a maior associação das variáveis microbiológicas e do COT com os sistemas florestais é reflexo de uma situação particular para tais componentes do solo nesses sistemas, os quais, além de serem estimulados pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação, são beneficiados pelo não revolvimento do solo e pela reduzida erosão hídrica, proporcionada pela maior cobertura do solo advinda da serapilheira (Cunha et al., 2012).

CONCLUSÕES

1. Nas áreas agrícolas, observou-se redução nos valores de COT e nas propriedades biológicas (a atividade enzimática e o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana) do solo quando comparados aos das áreas de pasto e florestais.

2. Com base nas análises de componentes principais, foi possível separar os sistemas agrícolas e os sistemas florestais e de pasto. Observou-se que, em ambas as épocas, as áreas de floresta secundária em estágio médio e a área de pasto estiveram associadas aos teores de COT e à maioria das variáveis biológicas, ao contrário do observado para as áreas dos sistemas agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor. À FAPERJ e ao curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, pela concessão de recursos para o desenvolvimento da pesquisa. À Embrapa Agrobiologia, pela concessão de equipamentos para as análises.

LITERATURA CITADA

- ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M. & LOUREIRO, M.F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos *Acta Sci. Agron.*, 33:341-347, 2011.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in dormant state. *Biol. Fert. Soils*, 1:81-89, 1985.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, 22:251-255, 1990.

- ARAÚJO, A.S.F. & MELO, W.J. Soil microbial biomass in organic farming system. *Ci. Rural*, 40:2419-2426, 2010.
- ARAÚJO, A.S.F. & MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos. *Biosci. J.*, 23:66-75, 2007.
- ASSIS JUNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C. & KASUYA, M.C.M. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *R. Árvore*, 27:35-41, 2003.
- BANDICK, A.K. & DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1471-1479, 1999.
- BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R. & FREIRE, R.A. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Caatinga*, 19:415-425, 2006.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17:837-842, 1985.
- CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 3.ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1979. 343p.
- CARNEIRO, M.A.; CARNEIRO, C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosequências de reabilitação após a mineração de bauxita. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:621-632, 2008.
- CARVALHO, F. Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2005. 95p. (Tese de Mestrado)
- COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & BOLOTA, E.L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. *Inf. Agropec.*, 22:84-91, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 006, de 4 de maio de 1994. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/legiano1.cfm>> Acesso em 25 jan. de 2005.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. & FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo bruno em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:587-589, 2004.
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D. & MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 16:56-63, 2012.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:179-186, 2004.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:913-923, 2002.
- FERREIRA, D.F. Sistema de análises de variância para dados balanceados: SISVAR 4.1. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000.
- FERREIRA, E.A.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. & RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1625-1635, 2007.
- FONTANA, A.; SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.P.; LOSS, A.; BRITO, R.J. & BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. *Acta Sci. Agron.*, 33:545-550, 2011.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - SOS/INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: Período 1995-2000. São Paulo, 2002.
- HERLIHY, M. & McCARTHY, J. Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 75:79-90, 2006.
- ISLABÃO, G.O.; TIMM, L.C.; CASTILHOS, D.D.; PRESTES, R.B. & BAMBERG, A.L. Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçú/RS. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CA/CA_00507.pdf>. Acesso em 02 maio de 2011.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 79:9-16, 2000.
- JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J.; STEENWERTH, K.L.; SCOW, K.M. & ROLSTON, D.E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma*, 114:305-317, 2003.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesq. Agropec. Trop.*, 38:118-127, 2008.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M., eds. *Soil biochemistry*. 5.ed. New York, Marcel Decker, 1981. p.415-471.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.*, 8:167-177, 1976.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O. & HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. *Plant Soil*, 338:467-481, 2011.
- KÖPPEN, W. Das geographische system der klimete. *Handbuch der klimatologie* Berlin, Borhtraeger, 1938.
- MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA, E.R. & POROCA, H.A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1883-1890, 2010.
- MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C. & ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do estado do Piauí. *Acta Sci. Agron.*, 31:517-521, 2009.

- MELLONI, R.; PERREIRA, E.G.M. & ALVARENGA, M.I.N. Indicadores da qualidade do solo. *Inf. Agropec.*, 29:17-29, 2008.
- MENEZES, C.E.G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio Vale do Paraíba do Sul Pinheiral-RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 160p. (Tese de Doutorado)
- MENEZES; C.E.G.; PEREIRA, M.G.; CORREIA; M.E.F.; ANJOS, L.H.C.; PAULA, R.R. & SOUZA, M.E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. *Ci. Flor.*, 20:439-452, 2010.
- MERCANTE, F.M. Biomassa e atividade microbiana: Indicadores da qualidade do solo. *Direto Cerrado*, 9-10, 2001.
- MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T. & OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Sci. Agron.*, 5:479-485, 2008.
- NOGUEIRA, M.A. & MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:655-663, 2003.
- NUNES, L.A.P.L. Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 102p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, M.C. Carbono da biomassa microbiana, do CO₂ liberado e micorrização em pastagens degradadas. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2004. 54p. (Tese de Mestrado)
- SCOTT, A. & KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. *Biometrics*, 30:507-512, 1974.
- SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. & ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1585-1592, 2010.
- SILVEIRA, A.O.; PLATTE, E.B.; ROESCH, L.F.W.; D'AGOSTINI, R.; SÁ, E.L.S.; CASALINHO, H. & CAMARGO, F.A.O. Processos biológicos como indicadores de qualidade ambiental. *B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo*, 32:15-16, 2009.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, G.W. *Statistical methods*. 8.ed. Ames, Iowa State. University Press, 1989. 491p.
- TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W., ed. *Methods of soil analysis: Microbiological and biochemical properties*. 5.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.775-833.
- TATE, K.R.; ROSS, D.J. & FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biol. Biochem.*, 20:329-335, 1988.
- TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M.G. & MENEZES, C.E.G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. *Ci. Flor.*, 12:9-16, 2002.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.
- ZATORRE, N.P. Influência da mudança no uso do solo em ecossistemas na Amazônia Sul Ocidental. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009. 85p. (Tese de Mestrado)