

ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS EM DOIS SOLOS DE CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E USO¹

Marco Aurélio Carbone Carneiro², Paula Camylla Ramos Assis², Lidianne Bárbara de Carvalho Melo²,
Hamilton Seron Pereira², Helder Barbosa Paulino², Américo Nunes da Silveira Neto²

ABSTRACT

BIOCHEMICAL ATTRIBUTES OF TWO SAVANNAH SOILS
UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS AND USE

Soil biochemical attributes can be used as sensitive indicators of alterations promoted by agricultural use, being a tool to guide tillage practices planning and evaluation to maintain soil sustainability. The objective of this study was to evaluate alterations in the soil organic carbon, biomass and microbial activity, urease and acid phosphatase activity, in two savannah soils, as affected by soil management systems. The study consisted of five soil management systems in a Typic Quartzipsamment, four in an Oxisol, and reference areas without alterations in the two soil types. The management systems changed the biochemical attributes of both soils. The Typic Quartzipsamment area under the soybean/*Brachiaria decumbens* sequence decreased the soil organic carbon and the microbial biomass carbon, and increased the respiration and qCO_2 , while the Oxisol, in all the areas, except for pasture, promoted reductions in the biochemical attributes. Among the management systems studied, the pasture provided improvements in the evaluated attributes, in both soils.

KEY-WORDS: Soil quality; microbial biomass; soil enzymatic activity.

RESUMO

Os atributos bioquímicos do solo podem ser utilizados como indicadores sensíveis de alterações promovidas pelo uso agrícola, sendo uma ferramenta para orientar o planejamento e a avaliação de práticas de manejo e uso, visando à sustentabilidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações no carbono orgânico do solo, na biomassa e atividade microbiana do solo, bem como na atividade de urease e fosfatase ácida, em dois tipos de solo de Cerrado, sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo. O estudo constou de cinco sistemas de manejo e uso do solo em Neossolo Quartzarênico e de quatro sistemas em Latossolo Vermelho, além de áreas de referência sem alterações antrópicas nos dois solos. Os sistemas de manejo do solo promoveram alterações nos atributos bioquímicos, nos dois solos estudados, sendo que, no Neossolo Quartzarênico, a área sob a seqüência soja/braquiária provocou redução no carbono orgânico e no carbono da biomassa microbiana e aumento na respiração micobiana e no qCO_2 , enquanto, no Latossolo Vermelho, todas as áreas, com exceção da pastagem, promoveram reduções nos atributos bioquímicos avaliados. Dentre os sistemas de manejo estudados, a pastagem proporcionou melhorias nos atributos avaliados nos dois solos.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de solo; biomassa microbiana; atividade enzimática do solo.

INTRODUÇÃO

Os atributos biológicos e bioquímicos do solo, como a atividade e biomassa microbiana e atividade enzimática, são indicadores sensíveis, que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo, visando à sustentabilidade do solo (Doran & Parkin 1996). A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, contendo de 1% a 4% de C e de 3% a 5% de N, representando um reservatório de nutrientes do solo e atuando no processo de

decomposição dos resíduos vegetais, na ciclagem de nutrientes e na sustentabilidade biológica do solo (Moreira & Siqueira 2002), podendo ser utilizada como indicador biológico ou como índice de adequação de sustentabilidade de sistemas de produção (Anderson & Domsch 1993). Nos agroecossistemas, a biomassa microbiana pode imobilizar entre 100 kg ha⁻¹ e 600 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ e 300 kg ha⁻¹ de P, até a profundidade de 30 cm, e essas quantidades excedem a aplicação anual de fertilizantes (Martens 1995) e a necessidade nutricional da maioria das plantas cultivadas. A liberação ou imobilização desses nutrientes depende da dinâmica dos microrganismos,

1. Trabalho financiado pelo CNPq, recebido em jun./2007 e aceito para publicação em nov./2008 (n° registro: PAT 3333).

2. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. Laboratório de Solo, BR 364, km 192, Zona Rural, CEP 75.000-000, Jataí - GO.

E-mails: carbonecarneiro@pq.cnpq.br, paulacamyllaramos@gmail.com, lidianegf@gmail.com, hsp.ufg@bol.com.br, helderlino51@yahoo.com.br, americanunesagro@yahoo.com.br.

da quantidade de resíduos vegetais, da eficiência de utilização de carbono pela microbiota e da atividade enzimática do solo (Baudoin et al. 2003).

A atividade enzimática também tem papel chave, pois é catalisadora de diversas reações, atuando, principalmente, no processo de decomposição dos resíduos e na ciclagem de nutrientes. A quantificação da atividade enzimática do solo pode fornecer informações sobre as alterações nestes processos metabólicos e, juntamente com a biomassa microbiana, pode contribuir para uma melhor compreensão sobre os efeitos das práticas de manejo e uso empregadas no solo (Mendes et al. 1999). Dentre as enzimas, destacam-se a urease e a fosfatase ácida, que atuam no ciclo de dois importantes nutrientes, o nitrogênio e o fósforo, respectivamente. Estudos demonstram que essas enzimas são afetadas pelas práticas de manejo do solo, sendo verificadas reduções acentuadas em sistema de manejo convencional, em detrimento dos sistemas considerados conservacionistas, como o plantio direto (Aon et al. 2001).

Apesar do crescente interesse em aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na população e na atividade microbiana em solos de Cerrado são recentes (D'Andréa et al. 2002, Mendes 2002, Mendes et al. 2003) e ainda pouco conclusivos.

O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações na atividade e biomassa microbiana e na atividade da urease e fosfatase ácida, em dois tipos de solo (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho) de ocorrência no Cerrado, submetidos a diferentes sistemas de manejo e uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em dois locais distintos, em áreas agrícolas localizadas no entorno do Parque Nacional das Emas. A primeira área situa-se no município de Mineiros (GO), na bacia do Rio Araguaia (17°54'58"S, 53°06'00"W e altitude de 850 m), onde o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico, apresentando as seguintes características: pH: 4,7 a 5,8; H+Al: 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 3,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Al: 0,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 0,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Ca: 0,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 1,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg: 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 0,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; K: 4,4 mg dm^{-3} a 12,4 mg dm^{-3} ; P: 1,4 mg dm^{-3} a 13,0 mg

dm^{-3} ; areia: 930 g kg^{-1} ; silte: 30 g kg^{-1} ; e argila: 40 g kg^{-1} . Neste local, foram estudadas cinco áreas com diferentes manejos e usos do solo, além do Cerrado utilizado como área de referência. A segunda área, localizada no município de Costa Rica (MS), na bacia do rio Sucuriu (18°22'54"S, 52°47'07"W e altitude de 930 m), apresentou solo classificado como Latossolo Vermelho, com as seguintes características: pH: 5,0 a 5,9; H+Al: 4,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 5,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Al: 0,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 0,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Ca: 0,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 3,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg: 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 1,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; K: 23,1 mg dm^{-3} a 120,1 mg dm^{-3} ; P: 0,7 mg dm^{-3} a 29,0 mg dm^{-3} ; areia: 252 g kg^{-1} ; silte: 15 g kg^{-1} ; e argila: 623 g kg^{-1} . Neste local, foram estudadas quatro áreas submetidas a diferentes manejos e usos do solo e uma área de referência sem alterações antrópicas (Cerrado). O clima da região, para ambos os solos, foi caracterizado, segundo Köppen, como Clima Tropical Chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 18°C a 32°C e precipitação média anual em torno de 1.700 mm. A descrição e o histórico das áreas estudadas encontram-se detalhados na Tabela 1.

A amostragem foi realizada no verão (fevereiro/2005) e, em cada área, foram demarcadas cinco parcelas, georeferenciadas, de 150 m², onde, no interior destas, coletaram-se dez sub-amostras de solo, em zigue-zague, formando uma amostra composta por parcela, na profundidade de 0-10 cm. Estas foram acondicionadas em caixas térmicas, com gelo no piso, e conduzidas, imediatamente, ao laboratório, onde foram peneiradas, a 2 mm de abertura de malha, armazenadas em sacos plásticos e conservadas sob refrigeração, a 4°C, para processamento das análises químicas e bioquímicas, no prazo máximo de trinta dias.

A textura do solo foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa 1997) e do carbono orgânico do solo (Corg), através de oxidação via úmida, com dicromato de potássio a quente, e a titulação realizada com solução de sulfato ferroso amoniacal, a 0,05 M (Embrapa 1997). A determinação do C da biomassa microbiana (Cmic) foi realizada pelo método da fumigação-extração (Vance et al. 1987), que apresenta, como princípio básico, a extração do C microbiano, após a morte dos microrganismos, e lise celular, pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares. A atividade microbiana foi medida pela quantificação do C mineralizável, por meio

Tabela 1. Histórico e descrição das áreas experimentais (tratamentos) estudadas no Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho.

Sistemas de uso e manejo do solo	Descrição
Neossolo Quartzarênico	
Cerrado Nativo	Área de mata fechada, apresentando serapilheira espessa e utilizada como referência, já que não houve intervenção antrópica. Área total de 46 ha.
Pastagem Nativa	Área de Cerrado (campo sujo), com vegetação graminóide e arbustiva, que foi utilizada para exploração pecuária, desde 1993, apresentando erosões laminares e em sulcos. A partir de 2001, a área foi fechada, sem animais, e está em processo de reabilitação natural. Área total de 40 ha.
Integração Agricultura-Pecuária	Em agosto de 2001, aplicou-se 2 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico (CaO: 23%; MgO: 18% e PRNT: 50%) e 400 kg ha ⁻¹ de fosfato de Gafsa (29% de P ₂ O ₅ total, com 15% de P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio). Nas primeiras chuvas, semeou-se milho, que foi dessecado em novembro, para a semeadura de soja em PD (cultivar Monarca), aplicando-se 250 kg ha ⁻¹ de NPK, da fórmula 06-20-12 + 0,3 % de Zn. Após a colheita da PD-soja, foi semeado milho, conjuntamente com <i>Brachiaria decumbens</i> (plantio safrinha), sendo adubado com 124 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 02-24-12, e cobertura com 163 kg ha ⁻¹ , de 30-00-10. Após a colheita do milho, vedou-se a área para o crescimento da braquiária, que recebeu 20 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N e, posteriormente, introduziu-se grade de corte. Área total de 48 ha.
Pastagem	Pastagem com <i>Brachiaria decumbens</i> , desde 1993, com uma única aplicação de 1,5 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico em superfície e animais (gado) em pastejo contínuo. Área total de 42 ha.
Soja em Plantio Direto	De 1993 até 2001, a área era ocupada por pastagem. A braquiária foi dessecada e aplicou-se 1,5 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico em superfície. Semeou-se soja em PD (cultivar EMGOPA 313), inoculada com estipes de <i>rhizobium</i> CPAC 15 e CPAC 7, e aplicou-se 550 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 2-20-18. Na maturação da soja, <i>Brachiaria decumbens</i> foi semeada a lanço, sendo a área, após a colheita da soja, fechada para o desenvolvimento da pastagem, sendo, portanto, utilizada soja na safra em sistema de plantio direto. Área total de 32 ha.
Milho em Plantio Direto	De 1993 até 2001, a área foi ocupada por pastagem. A braquiária foi dessecada e foi realizada a aplicação de 2 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico em superfície. Semeou-se milho (cultivar dekalb 350), conjuntamente com <i>Brachiaria decumbens</i> , aplicando-se 451 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 08-20-18 + 0,3 % de Zn. Após a colheita do milho, a <i>Brachiaria decumbens</i> estabelecida seria dessecada novamente, no próximo ano agrícola, para semeadura de milho, portanto em sistema de plantio direto, sempre utilizando-se milho na safra. Área total de 38 ha.
Latossolo Vermelho	
Cerrado Nativo	Área de Cerrado nativo, com serapilheira densa, utilizada como referência. Área total de 57 ha.
Pastagem	Em 2001, foi aplicado 1 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico, incorporado utilizando-se grade. Semeou-se milho (cultivar precoce NK Fort), com aplicação de 300 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 08-20-20 + 0,3% de Zn, e cobertura de 372,25 Kg ha ⁻¹ , na fórmula 25-00-15. Após a colheita do milho, semeou-se <i>Brachiaria decumbens</i> , com aplicação de 80 kg ha ⁻¹ de KCl. Atualmente, vem sendo realizada adubação de cobertura de 80 kg ha ⁻¹ de N. Seqüência: Milho/Braquiária. Presença de animais (gado) em pastejo contínuo. Área total de 38 ha.
Milheto em preparo Convencional	Em 2001, foi realizada a aplicação de 1 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico (CaO: 22%; MgO: 18%; PRNT: 85%) e semeadura de milho (cultivar precoce NK Fort), aplicando-se 454 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 08-20-20 + 0,3% Zn, e, como cobertura, aplicou-se uma média de 340 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 25-00-15. Após a colheita do milho, semeou-se milheto na safrinha para palhada. Em 2002, semeou-se soja (cultivar Pintada), aplicando-se 250 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 00-18-18. Após a colheita da soja, semeou-se milheto na safrinha, em sistema de plantio convencional. A seqüência na área foi de milho/ milheto/ soja/ milheto. Área total de 40 ha.
Nabo em Plantio Direto	Em 2001, foi realizada a aplicação de 1 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico (CaO: 22%; MgO: 18%; PRNT: 85%) e semeadura de PD:soja (cultivar Monsoy 8400), aplicando-se 374 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 00-18-18. Após a colheita da soja em PD, semeou-se nabo forrageiro na safrinha. Em 2002, semeou-se milho (cultivar Pioneer 3027), aplicando-se 389 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 08-20-20, e nabo na safrinha e assim sucessivamente, sempre em sistema de plantio direto. A seqüência, desde 2001, foi soja/nabo/milho/nabo. Área total de 42 ha.
Sorgo em Plantio Direto	Em 2001, foi realizada a aplicação de Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico e plantio direto da soja (cultivar Monsoy 8400) na safra, com adubação de 221 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 00-18-18. Em 2002, semeou-se milho (cultivar DINA 657 semi-precoce), com aplicação de 307 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 00-20-20 + 0,3% de Zn, e cobertura de 377 kg ha ⁻¹ , de 25-00-15. Após a colheita do milho, semeou-se sorgo (Agrocerec – AG 2501C), com aplicação de adubação de 200 kg ha ⁻¹ de NPK, na fórmula 08-20-20. A seqüência, desde 2001, foi soja/milho/sorgo/soja. Área total de 39 ha.

do desprendimento do CO₂ (C-CO₂), capturado em solução de NaOH 1 M, em um período de 24 horas, de acordo com a metodologia descrita por Isermeyer (1952), citada por Alef & Nannipieri (1995). A taxa de respiração específica da biomassa microbiana, ou quociente metabólico qCO_2 , foi obtida pela relação entre a atividade microbiana (respiração) e o C da biomassa microbiana e foi expressa em quantidade de CO₂ por grama de biomassa por tempo (Anderson & Domsch 1993), enquanto o quociente microbiano representou a relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total do solo (Cmic/Corg).

A mensuração da atividade da fosfatase foi baseada na leitura em espectrofotômetro do ρ -nitrofenol resultante da atividade enzimática da fosfatase ácida, conforme descrito em Dick et al. (1996), sendo o resultado expresso em μg de ρ -nitrofenol por grama de solo seco por hora. A atividade da urease foi determinada pelo método descrito por Tabatabai & Bremner (1972), que se baseia na determinação da amônia liberada após a incubação do solo com uma solução de uréia, por duas horas, a 37°C.

Os dados dos atributos avaliados dentro de cada solo foram submetidos a análise de variância, teste de médias utilizando Tukey e correlação de Pearson, a 5% de significância (SAEG-UFV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração do carbono orgânico (Corg) apresentou pequena variação entre as áreas estudadas no Neossolo Quartzarênico, sendo encontrada maior concentração na área sob pastagem, com valor superior a 53%, em relação à área sob cultivo de soja/braquiária.

Apesar de todas as áreas terem como cultura de inverno a braquiária, com exceção da área de Cerrado e de pastagem nativa, a seqüência soja/braquiária reduziu a concentração de Corg. Nesta área, a braquiária não promoveu uma eficiente cobertura do solo, que, aliado à entrada de nitrogênio via fixação biológica nas raízes da soja e menor relação C/N na fitomassa da soja, pode ter contribuído para acelerar a oxidação do Corg nativo, o que não foi verificado na área milho/braquiária. Além deste fato, a braquiária, na área sob pastagem e integração lavoura-pecuária (ILP), apresentava-se bem estabelecida, formando uma boa cobertura do solo, promovendo a entrada de carbono no solo via rizodeposição e via necromassa (folhas e raízes mortas). Neste sentido, dentre os manejos e usos dos solos estudados, as áreas sob pastagem por mais de um ano podem ser uma alternativa para o cultivo neste solo de extrema fragilidade.

Tabela 2. Atributos bioquímicos do solo, em função dos diferentes sistemas de manejo e uso, em dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho.

Áreas	Corg g kg ⁻¹	Cmic $\mu\text{g g solo}^{-1}$	C-CO ₂ mg g solo ⁻¹ h ⁻¹	qCO_2 mg C-CO ₂ $\mu\text{g Cmic}^{-1}$	Cmic/Corg %	Urease $\mu\text{g N-NH}_4^+$ g solo ⁻¹ h ⁻¹	Fosfatase ácida $\mu\text{g PNF g solo}^{-1}$ h ⁻¹
<i>Neossolo Quartzarênico</i>							
Cerrado	6,97 ab ¹	280 b	7,2 c	0,031 b	4,0 c	7,6 bc	129,3 b
Pastagem nativa	5,59 ab	265 b	8,2 c	0,038 b	4,7 c	3,9 d	106,8 c
I.L.P.	6,37 ab	432 ab	8,2 c	0,021 b	6,8 ab	4,2 cd	138,1 ab
Milho/Braquiária	6,55 ab	279 b	29,6 a	0,139 a	4,3 c	6,0 bcd	155,5 a
Pastagem	7,20 a	564 a	18,3 b	0,034 b	7,8 a	14,1 a	146,9 ab
Soja/Braquiária	4,68 b	264 b	31,6 a	0,134 a	5,6 b	8,8 b	133,3 b
<i>Latossolo Vermelho</i>							
Cerrado	21,6 a	570 a	2,6 b	0,005 c	3,49 a	16,2 a	137,3 a
Nabo	19,1 ab	351 b	3,7 ab	0,012 b	1,80 b	6,1 bc	151,1 a
Milheto	16,3 b	343 b	4,2 ab	0,011 b	2,10 b	3,3 c	143,1 a
Pastagem	22,0 a	404 ab	5,1 ab	0,013 b	1,84 b	7,7 b	152,8 a
Sorgo	19,2 ab	285 b	6,0 a	0,027 a	1,48 c	5,4 bc	142,3 a

¹- Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

I.L.P.- Integração lavoura pecuária; Corg - Carbono orgânico; Cmic - Carbono na biomassa microbiana; C-CO₂ - Respiração microbiana; qCO_2 - quociente metabólico; Cmic/Corg - quociente microbiano.

Na pastagem e na integração lavoura-pecuária (ILP), observaram-se maiores quantidades de carbono na biomassa microbiana (C_{mic}), diferindo, significativamente, das demais áreas estudadas (Tabela 2), encontrando-se valor superior em 50%, em relação à área referência. Esta maior concentração de C_{mic} na pastagem e ILP está associada ao sistema radicular fasciculado da gramínea, que concentra-se nos primeiros 10 cm de profundidade e resulta em maior entrada de carbono no solo, via rizosfera e necromassa, atuando na ativação da microbiota do solo. Estudos conduzidos por Pfenning et al. (1992), Feigl et al. (1995) e Fernandes (1999), em solos de textura média a arenosa da Amazônia, mostraram o aumento do C_{mic} em áreas sob pastagem, corroborando os resultados encontrados neste estudo.

O quociente microbiano (C_{mic}/C_{org}) seguiu a mesma tendência da C_{mic} , verificando-se maiores valores para as áreas sob ILP e pastagem e menores para as áreas de Cerrado, pastagem nativa e milho/braquiária. Segundo Sparling (1992), esta relação reflete a eficiência de conversão do C_{org} em C_{mic} , perdas do C_{org} e a própria estabilidade do C_{org} na fração mineral do solo. Anderson & Domsch (1993) relatam que esta relação pode variar de 0,3% a 7% e depende do tipo de solo, do manejo e uso deste, da cobertura e da época de amostragem. Considerando-se o valor obtido na área de Cerrado como ponto de equilíbrio, as áreas sob ILP e pastagem promoveram incremento no teor de C_{mic} do solo, devido ao efeito rizosférico já comentado.

Também foi possível observar menores valores na respiração do solo nas áreas de Cerrado, pastagem nativa, ILP e pastagem diferindo significativamente das demais áreas estudadas (Tabela 2). A respiração microbiana reflete a degradação dos resíduos orgânicos depositados no solo, sendo que uma alta taxa de respiração, a curto prazo, pode indicar mineralização do carbono e outros elementos e, a longo prazo, perda de carbono do sistema solo (Rice et al. 1996).

A maior atividade microbiana ($C-CO_2$) na área de milho/braquiária e soja/braquiária indica mineralização dos resíduos vegetais e carbono orgânico nativo destas áreas, a qual, aliada à baixa concentração de C_{mic} , demonstra que, nestas áreas, estão ocorrendo perdas de carbono, pois uma baixa população microbiana do solo necessita de grande quantidade

de carbono (energia) para sua manutenção, o que, de certo modo, pode ser comprovado pelos valores elevados do quociente metabólico nestas duas áreas (Tabela 2). Segundo Gama-Rodrigues (1999), à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO_2 , pela respiração, sendo que uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano. Com isto, solos com qCO_2 baixos estão próximos do estado de equilíbrio, como pode ser observado nas áreas de Cerrado, pastagem nativa, integração lavoura-pecuária e pastagem, que não diferiram significativamente (Tabela 2).

Estratégias de manejo e uso de solos, como os Neossolos Quartzarênicos, que proporcionam o aumento/manutenção do carbono no solo, são condição essencial para a manutenção de sua sustentabilidade, garantindo o sucesso da incorporação destes solos nos sistemas produtivos. Neste sentido, a integração lavoura, pecuária e pastagem contínua pode ser estratégia interessante para a utilização racional e não degradação deste tipo de solo.

A atividade da urease variou significativamente entre as áreas estudadas, sendo verificada maior atividade na área sob pastagem e menor nas áreas de pastagem nativa e ILP (Tabela 2). A atividade da fosfatase ácida teve comportamento semelhante ao da urease, encontrando-se baixa atividade na pastagem nativa e maior nas demais áreas estudadas. A menor atividade destas enzimas pode significar redução da disponibilidade de nitrogênio e fósforo, respectivamente, uma vez que ela participa ativamente do ciclo destes nutrientes no solo. No presente estudo, não encontrou-se correlação entre as atividades destas enzimas e os dados de fertilidade do solo de cada tratamento.

O sistema de uso do solo tem grande influência sobre a atividade enzimática do solo. Por exemplo, a atividade da urease foi reduzida em 33% e 72%, em solos sob pastagens (10 anos) e algodão, respectivamente, quando comparada com solos sob mata, no Estado de São Paulo (Marchiori-Júnior 1998). Resultados semelhantes foram encontrados em solos cultivados com trigo e milho, nos EUA (Hector & Robert 1989, Riffaldi et al. 1994) e na Amazônia (Fernandes 1999). Doran (1987) e Dick (1994) verificaram aumento do nível de atividade enzimática na superfície do solo, em sistema de plantio direto, quando comparado ao preparo convencional, devido ao menor distúrbio no solo neste sistema. Apesar da

importância da determinação da atividade destas enzimas, sua avaliação em solos arenosos é rara, principalmente no bioma de Cerrado.

A menor concentração do C orgânico observada no Latossolo foi encontrada em área sob milho, diferindo, significativamente, das áreas de Cerrado e pastagem (Tabela 2). Esta redução está aliada ao fato de que nesta área utilizou-se o sistema convencional de preparo do solo, o qual provoca a ruptura dos agregados e, conseqüentemente, a exposição da matéria orgânica do solo a processo de oxidação biológica mais intensa, reduzindo, assim, sua concentração no solo.

O carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) apresentou pequena variação entre as áreas estudadas, sendo encontrada maior concentração na área de Cerrado e sob pastagem, em relação às demais áreas estudadas. Estas duas áreas não sofreram revolvimento, ou seja, a estrutura do solo foi preservada e ainda apresenta uma boa cobertura vegetal, o que pode representar um sistema radicular mais abundante, com liberação de exsudados, via raízes, propiciando a manutenção e aumento da população de microrganismos na rizosfera, conforme comenta Matsuoka et al. (2003), somando-se a isto a grande deposição de serapilheira no solo. Este fato é demonstrado através do quociente microbiano (C_{mic}/C_{org}), que foi maior na área de sorgo e menor na área de Cerrado, sendo que as demais áreas não diferiram significativamente entre si ($P \leq 0,05$).

Considerando-se o valor obtido na área de Cerrado para o quociente metabólico (qCO_2), verifica-se que todas as áreas apresentam perdas de carbono do solo, sendo esta perda maior na área de sorgo. O quociente metabólico (qCO_2) é considerado importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a população microbiana do solo (Anderson & Domsch 1993). Estes autores observaram maiores valores em condições ambientais estressantes, onde a biomassa microbiana gasta mais carbono para sua manutenção. Neste sentido, todas as áreas apresentaram valores elevados para este atributo, quando comparadas com a referência, indicando que estas apresentam-se sob estresse, devido à própria alteração antrópica no solo, mesmo em condição de plantio direto. No Latossolo e nas condições locais ocorre perda de carbono.

As concentrações da urease e da fosfatase ácida encontradas no Latossolo submetido a

diferentes sistemas de manejo e uso do solo encontram-se na Tabela 2. Para a atividade da urease, foi observada maior atividade na área de Cerrado. Já a atividade da fosfatase ácida não foi capaz de diferenciar os manejos e usos do solo estudados, não encontrando diferenças significativas entre si. A atividade enzimática pode fornecer indicações sobre alterações no solo, provocadas pela atividade antrópica, por representar papel-chave na ciclagem de nutrientes. Neste sentido, os resultados encontrados neste estudo, em relação à urease, evidenciam os efeitos negativos promovidos pelo manejo, principalmente em sistema convencional, como é o caso da área de milho.

Dentre os atributos bioquímicos importantes, destaca-se a biomassa microbiana do solo, a qual tem sido utilizada como indicador biológico das interferências antrópicas no solo, sendo considerada a parte viva da matéria orgânica do solo, pois atua como agente de transformação bioquímica dos resíduos e compostos orgânicos e como reservatório de nutrientes (Moreira & Siqueira 2002).

No presente estudo, pode-se observar que as áreas de ILP e pastagem no Neossolo promoveram aumentos na concentração de C_{mic} e no quociente microbiano do solo (C_{mic}/C_{org}) e menores valores de qCO_2 . Já no Latossolo, os sistemas de manejo e uso do solo, com exceção da pastagem, proporcionaram redução para C_{mic} e C_{mic}/C_{org} e valores elevados de qCO_2 . Assim, as áreas sob milho/braquiária e soja/braquiária, no Neossolo e em todas as áreas no Latossolo, com exceção da pastagem, apresentaram condições adversas à população microbiana. Isto reflete-se na concentração de carbono orgânico do solo, que, nestas áreas, apresentou-se em menores concentrações, ou mesmo com tendência de redução para este atributo.

A manutenção do carbono orgânico nestes solos, principalmente no Neossolo, é condição vital para a manutenção da sua sustentabilidade, pois é o que proporciona manutenção da sua estrutura e da atividade microbiana do solo e que contribui para o aumento da CTC nestes solos. Isto indica o potencial que a pastagem (braquiária) tem, quando bem manejada, de recuperar o teor de carbono orgânico no solo, conseguindo aumentá-lo, em relação ao Cerrado, fato observado para os dois solos em estudo. A ausência de revolvimento do solo, conservando sua estruturação, aliada ao sistema radicular agressivo e

abundante das gramíneas, confere à pastagem estas características, o que confirma resultados encontrados em outros estudos (Angers et al. 1992, Marchiori-Júnior 1998, Matsuoka et al. 2003).

CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo e uso do solo alteraram os atributos bioquímicos de ambos os solos estudados.
2. No Neossolo Quartzarênico, a área sob seqüência soja/braquiária acusou diminuição do carbono orgânico e do carbono da biomassa microbiana, aumentando a respiração e o quociente metabólico.
3. No Latossolo Vermelho, todas as áreas, com exceção da pastagem, promoveram reduções nos atributos bioquímicos avaliados.
4. Dentre os sistemas de manejo estudados, a pastagem proporcionou melhorias nos atributos avaliados nos dois solos.

AGRADECIMENTOS

Aos empresários rurais Milton Fries e Eduardo Peixoto, por cederem suas propriedades e pelo apoio logístico para realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 25, n.3, p. 393-395, 1993.

ANGERS, D. A.; PESANT, A.; VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, n. 1, p. 115-119, 1992.

AON, M. A. et al. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 239-254, nov. 2001.

BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 35, n. 9, p. 1183-1192, set. 2003.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-272.

DORAN, J. W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 5, n. 1, p. 68-75, 1987.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

FEIGL, B. J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 27, n. 11, p. 1467-1472, 1992

FERNANDES, S. A. P. *Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia)*. 1999. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências - Energia Nuclear na Agricultura)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-244.

HECTOR, J. B.; ROBERT, L. W. Soil urease activity in management systems: winter wheat residue. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 53, n. 5, p. 1455-1458, set./out. 1989.

MARCHIORI-JUNIOR, M. *Carbono, nitrogênio, biomassa microbiana e atividade enzimática num solo sob mata natural ou cultivado com pastagem ou algodoeiro*. 1998. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal)-Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 1998.

- MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass-C in soil: potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 19, n. 2/3, p. 87-99, 1995.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, maio/jun. 2003.
- MENDES, I. C. et al. *Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional*. Planaltina: CNPAC, 1999.
- MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, maio/jun. 2003.
- MENDES, I. C. Impactos de sistemas agropecuários na atividade enzimática e biomassa microbiana dos solos de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA/MERCOSOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...*, Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 246-257.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLa, 2002.
- PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana em solos da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 31-37, 1992.
- RICE, C. W.; MOORMAN, T. B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 203-216.
- RIFFALDI, R. et al. Chemical characteristics of soil after 40 years of continuous maize cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Netherlands, v. 49, n. 3, p.239-245, jul. 1994.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v. 30, n. 2, p.195-207, 1992.
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 4, n. 4, p. 479-487, 1972.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 6, p.703-707, 1987.