

Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo

Physical and biological attributes of Yellow-Red Argissol of Amazon under different systems of use and management

James Rodrigo Colodel¹, Maria Aparecida Pereira Pierangeli², Marcelo Fernando Pereira Souza³, Marcos Antônio Camillo de Carvalho² e Flávio Carlos Dalchiavon^{4,*}

¹ Discente do programa de Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta – MT, Brasil

² Professores do programa de Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta – MT, Brasil

³ Escola Técnica de Alta Floresta – MT, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis, curso de Bacharelado em Agronomia, MT 235, km 12, Zona Rural, CEP 78360-000 Campo Novo do Parecis, MT, Brasil.

(*E-mail: flavio.dalchiavon@cnp.ifmt.edu.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17253>

Recebido/received: 2017.10.03

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.02.09

Aceite/accepted: 2018.03.06

RESUMO

A qualidade de um solo é definida por meio da interação entre atributos químicos, físicos e biológicos, os quais são fundamentais como indicadores de sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Assim, o trabalho teve como objetivo verificar o efeito de diferentes sistemas de manejo e uso sobre os atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo da região amazônica. O estudo foi realizado em Alta Floresta – Mato Grosso (Brasil) (09°56'20"S e 55°55'42"W; altitude de 285 metros). Foi adotado o delineamento por blocos, sendo 6 tipos de ocupação do solo, com 5 repetições e parcelas de 100 m² cada. Os sistemas adotados foram: vegetação natural, café conilon (*Coffea canephora*), lavoura convencional (área destinada ao cultivo de soja e milho safrinha), pastagem de *Panicum maximum* (Mombaça), *Brachiaria brizantha* (Brizantão ou Braquiarião) com calagem e *Brachiaria brizantha* sem calagem. Avaliaram-se os atributos físicos: macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), além dos atributos biológicos: respiração basal; carbono da biomassa microbiana (CBM); quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano. A vegetação nativa apresentou a menor microporosidade e a maior taxa do CBM. O $q\text{CO}_2$ foi maior na pastagem de *Panicum maximum*. Os sistemas com pastagens promoveram redução da macroporosidade e porosidade total do solo. O sistema com lavoura convencional apresentou menor qualidade biológica em comparação aos demais sistemas.

Palavras-chave: qualidade do solo, atividade microbiana, carbono da biomassa microbiana, porosidade do solo.

ABSTRACT

The soil quality is defined by the interaction among chemical, physical and biological attributes, which are fundamental as indicators of sustainability of the agriculture systems. Thus, the study aimed to verify the effect of the management and use systems on physical and biological properties of a Yellow-Red Argissol in the Amazon region. The study was conducted in Alta Floresta, state of Mato Grosso (Brazil) (09°56'20" S and 55°55'42" W; altitude of 285 meters). A block design was adopted, with 6 types of soil occupation and with 5 replications in plots of 100 m² each. The systems used were: natural vegetation, conilon coffee (*Coffea canephora*), conventional tillage (field to grow soy and maize crops), *Panicum maximum* (Mombaça) pasture, *Brachiaria brizantha* (Brizantão ou braquiarião) with liming and *Brachiaria brizantha* without liming. The physical attributes evaluated in this study were: macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt) and density of soil (Ds). The biological attributes were: basal respiration; microbial biomass carbon (MBC), microbial quotient and metabolic quotient ($q\text{CO}_2$). The native vegetation system had lower microporosity and the higher rates of MBC. The $q\text{CO}_2$ was greater in *Panicum maximum* pasture. Systems with pastures promoted the reduction of macroporosity and total porosity of the soil. The conventional farming systems showed lower biological quality when compared to the other systems.

Keywords: soil quality, microbial activity, microbial biomass carbon, soil porosity.

INTRODUÇÃO

A qualidade de um solo é definida por meio da interação entre atributos químicos, físicos e biológicos, que por sua vez são fundamentais para avaliar os impactos sofridos pelo solo em decorrência das atividades agropecuárias. Portanto, atuam e são indicadores da sustentabilidade destes sistemas (Aratani *et al.*, 2009). Deste modo, a manutenção da qualidade desses atributos proporciona condições ideais para o desenvolvimento das plantas, além de manter e/ou aumentar a diversidade de microrganismos do solo (Doran e Parkin, 1994).

No que diz respeito à qualidade do solo, os atributos físicos merecem destaque especial, uma vez que a sua alteração tem afetado bastante os atributos químicos e biológicos, já que estes são interdependentes, ou seja, a melhoria nos atributos físicos do solo contribui diretamente para a melhoria dos atributos químicos e biológicos (Araújo *et al.*, 2007).

Contudo, Vezzani e Mielniczuk (2009) relataram que a qualidade do solo está relacionada a indicadores biológicos. Assim, esses autores recomendam que os manejos adotados para o solo sejam direcionados às práticas que favoreçam a biologia do solo, já que os organismos são os responsáveis pelas grandes transformações físicas e químicas no solo. Nesse sentido, já na década de 1990, Doran e Linn (1994) consideravam a biomassa microbiana como excelente indicador biológico da qualidade do solo, pois a mesma exerce importante papel dentre as inúmeras características biológicas e físico-químicas do solo, sendo fundamental no processo de decomposição e ciclagem de nutrientes.

Deste modo, a avaliação dos indicadores de qualidade e sustentabilidade do solo tem-se mostrado uma ferramenta útil e cada vez mais importante de avaliar a capacidade não apenas do solo, mas do sistema como um todo, de se auto sustentar, tornando-se viável no presente e no futuro (Oliveira *et al.*, 2007; Carneiro *et al.*, 2009).

O carbono contido na biomassa microbiana é o destino inicial do carbono em transformação no solo e funciona como energia armazenada para processos microbianos e, por apresentar respostas rápidas a alterações no solo, pode ser utilizada como identificador precoce de alterações na matéria

orgânica (Rice *et al.*, 1996). Além disso, a quantidade de carbono do solo liberado como CO₂ e a determinação do quociente metabólico (q_{CO_2}) são considerados métodos estimadores da grandeza da biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1993). Contudo, é o quociente microbiano (q_{Cmic}) que permite um rápido acompanhamento das modificações sofridas pela variação nos teores de matéria orgânica total do solo (Oliveira *et al.*, 2001).

A biomassa microbiana é um atributo sensível a alterações na qualidade do solo provocadas pelas práticas de manejo, demonstrando maior alteração na qualidade deste solo em decorrência de práticas convencionais de cultivo (Trannin *et al.*, 2007). Silva *et al.* (2010a) também ressaltaram que o carbono da biomassa microbiana (CBM) está entre os mais valiosos e sensíveis indicadores da qualidade do solo nos trópicos, como resultado do regime de manejo adotado. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito de sistemas de manejo e uso sobre os atributos físicos e biológicos de solos na região amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em dezembro de 2013 em duas localidades inseridas no bioma amazônico, localizadas no município de Alta Floresta, MT (Brasil) (09°56'20"S e 55°55'42"W; altitude de 285 metros). O solo da área em estudo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) (Embrapa, 2013), em relevo suave ondulado. O seu correspondente no Sistema Americano de Classificação de Solos (USDA, 1960) é o Typic Tropustult e no Sistema de Classificação de Solos da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) é o Alisols (IUSS, 2006).

A cobertura vegetal natural da área do estudo é caracterizada por vegetação do tipo Floresta Estacional Semidecidual composta por diferentes gêneros amazônicos com destaque para *Astronium*, *Cariniana*, *Lecythis* e *Parapiptadenia*. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo Aw: quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As precipitações pluviométricas, que ocorrem entre os meses de outubro a março, podem atingir médias que superam os 2.750 mm anuais.

Para o presente estudo foram selecionadas áreas em seis diferentes sistemas de uso e manejo de ocupação do solo, sendo: vegetação natural (vegetação autóctone), café conilon (*Coffea canephora*), lavoura convencional, pastagem de *Panicum máximum* cv. Mombaça, pastagem de *Brachiaria brizantha* com histórico de calagem e pastagem de *Brachiaria brizantha* sem calagem. O Quadro 1 apresenta o histórico de uso das áreas do estudo.

O ensaio foi realizado em delineamento por blocos, sendo os tipos de ocupação do solo, com 5 repetições, tendo cada parcela (cada sistema de manejo e uso do solo) 100 m², com distância mínima de 300 m entre elas. Os dados obtidos no presente estudo foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade. Efetuaram-se também análises de correlação de Pearson entre as variáveis.

Para as análises físicas, foram coletadas, de forma aleatória, 5 amostras não perturbadas, dentro de cada parcela, para cada sistema. Para isso, utilizou-se um amostrador do tipo Uhland e cilindro de aço de Kopecky, com volume de 96,17 cm³. Com o auxílio do amostrador, o cilindro foi introduzido no solo até o seu preenchimento total, nas três profundidades de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, totalizando 5 repetições por parcela. Estas amostras foram imediatamente acondicionadas em papel alumínio e sacos plásticos e, posteriormente, colocadas em caixas para evitar a perda da estrutura do solo. Todas as amostras foram armazenadas

em caixas térmicas e levadas imediatamente para o Laboratório de Solos da Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Alta Floresta.

Para a determinação das porosidades, as amostras foram saturadas, durante 48 horas, em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a -0,006 MPa, utilizando uma mesa de tensão. A partir dos valores de humidade, com saturação das amostras e dos valores de retenção de água, foram calculados os valores de macro, micro e porosidade total do solo (Embrapa, 1997).

Para a caracterização química e biológica do solo, uma amostra, composta por 5 amostras simples de solo, foi colhida dentro de cada parcela, na profundidade de 0-0,10 m. Parte das amostras de solo foi enviada para as caracterizações químicas, seguindo metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) e a outra parte para as avaliações biológicas.

A quantificação do C-CO₂ foi realizada conforme metodologia proposta por Anderson e Domsch (1989), sendo o tempo de incubação determinado por meio de uma curva de calibração. A quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinada por extração química e digestão (Vance *et al.*, 1987). O qCO_2 foi determinado pela razão C-CO₂ liberado:CBM (Anderson e Domsch, 1993), enquanto o $qCmic$ foi calculado pela expressão (CBM/Corg)/10 (Sparling, 1992).

Quadro 1 - Tipos e histórico de uso das áreas estudadas em Alta Floresta-MT (Brasil) em 2014

Tipo de Uso	Histórico de uso
Vegetação Nativa	Vegetação de floresta estacional semidecidual característica da região, em área de fragmento florestal sem histórico de interferência antrópica.
Café	<i>Coffea canephora</i> implantado em 1996, com adubação frequente até 2010, sem nenhum tipo de adubação ou tratamentos culturais após esse período.
Lavoura Convencional	Área com café arábica (<i>Coffea arabica</i>) de 1985 a 1986, com posterior transformação em pastagem até 1998, quando começou o cultivo de arroz até o ano 2000. De 2001 a 2009, foi novamente convertida em pastagem e de 2009 até 2013, foi cultivada com milho e sorgo forrageiro, tipo safrinha, ambos para silagem. No ano agrícola 2012/2013 houve incorporação dos restos de cultura com grade aradora.
Pastagem 1	Pastagem de <i>Panicum máximum</i> cv. Mombaça, com cacau de 1980 a 1990; de 1991 a 2000, com pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> ; de 2001 a 2002, cultivada com lavoura de arroz. Em 2003, houve a implantação do cv. Mombaça, que esteve em manejo rotacionado até 2010. De 2010 em diante, com manejo extensivo com boa produção de forragem e baixa taxa de lotação animal.
Pastagem 2	Pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu, formada no início da década de 80, com calagem no ano de 2009 e implantação de curvas de nível.
Pastagem 3	Pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu, com implantação no ano de 1982, submetida a manejo extensivo, sem nenhum histórico de correção ou adubação do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos físicos

No Quadro 2 encontram-se as características granulométricas, bem como a classe textural dos solos dos diferentes sistemas de uso.

Os sistemas de uso, assim como, a profundidade de amostragem e a interação entre sistema de uso e profundidade influenciaram a macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds). Entretanto, a microporosidade (Mi) diferiu apenas para os diferentes usos do solo (Quadro 3), sendo observado menores valores médios para a vegetação nativa.

Por não sofrer o trânsito de máquinas e equipamentos, o solo sob vegetação nativa apresentou menores valores de Mi e maiores de Ma, em relação aos demais sistemas (Quadro 3). Os resultados

são semelhantes aos relatados por Andrade *et al.* (2009) e Cunha *et al.* (2012), os quais estudaram diferentes sistemas de uso e constataram menores valores de Mi e Ds, e maior Pt dos solos sob sistema de vegetação nativa. Os resultados do presente estudo indicam que as atividades agropecuárias, sobretudo aquelas com intenso pisoteio animal aumentam a fração de microporos devido à redução da Ma, principalmente nas camadas mais superficiais do solo.

Na interação entre sistemas de uso e profundidades, observaram-se maiores valores de Ma na vegetação nativa, independentemente da profundidade estudada (Quadro 4). As áreas com pastagem não apresentaram diferenças entre si e todas exibiram valores abaixo de 10% de Ma, o que indica acentuado grau de compactação destes solos, pois seus resultados foram inferiores ao nível considerado como crítico (Reichert *et al.*, 2007).

Quadro 2 - Análise granulométrica e classe textural do solo em diferentes usos e profundidades para cada sistema de uso em Alta Floresta-MT (Brasil) em 2014

Profundidades (m)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe Textural
Vegetação Nativa				
0,00 – 0,10	735	64	201	Franco arenoso
0,10 – 0,20	730	54	215	
0,20 – 0,40	668	57	275	
Café				
0,00 – 0,10	609	57	334	Franco argila arenosa
0,10 – 0,20	630	52	318	
0,20 – 0,40	518	40	441	
Lavoura				
0,00 – 0,10	559	57	384	Argila arenosa
0,10 – 0,20	538	82	381	
0,20 – 0,40	475	33	491	
Pastagem 1				
0,00 – 0,10	599	33	368	Argila arenosa
0,10 – 0,20	540	59	401	
0,20 – 0,40	442	33	525	
Pastagem 2				
0,00 – 0,10	599	50	351	Franco argila arenosa
0,10 – 0,20	604	61	334	
0,20 – 0,40	542	50	408	
Pastagem 3				
0,00 – 0,10	616	66	318	Franco argila arenosa
0,10 – 0,20	590	59	351	
0,20 – 0,40	525	33	441	

Obs: Pastagem 1: *Panicum maximum* cv. Mombaça; Pastagem 2: *Brachiaria brizantha* com histórico de calagem e Pastagem 3: *Brachiaria brizantha* sem histórico de calagem.

Quadro 3 - Médias dos valores de macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) de um Argissolo Vermelho-Amarelo com diferentes usos e profundidades em Alta Floresta-MT (Brasil) em 2014

Usos	Macro (%)	Micro (%)	PT (%)	Ds (Mg m ⁻³)
Vegetação Nativa	18,02a	25,50b	43,52a	1,42b
Café	10,95b	31,99a	42,94ab	1,45b
Lavoura Convencional	10,24bc	34,05a	44,29a	1,43b
Pastagem 1	8,74cd	33,78a	42,53ab	1,46b
Pastagem 2	8,86d	31,95a	40,81b	1,55a
Pastagem 3	7,35d	34,57a	41,93ab	1,48ab
DMS	2,13	3,05	2,48	0,08
Valor de F	54,47**	20,73**	4,12**	5,78**
Profundidade (m)				
0,00 – 0,10	12,17a	32,15	44,32a	1,42b
0,10 – 0,20	10,31b	31,94	41,54b	1,51a
0,20 – 0,40	9,60b	31,84	42,15b	1,47b
DMS	1,23	1,76	1,42	0,04
Valor de F	13,21**	0,09 ^{ns}	11,84**	10,56**
Interação uso × Profundidade				
Valor de F	8,85**	0,83 ^{ns}	2,60**	2,60**
CV (%)	18,65	8,92	5,45	5,16

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns Não significativo.

Quadro 4 - Desdobramento da interação significativa entre usos e profundidades, para macroporosidade, porosidade total e densidade do solo em Alta Floresta-MT (Brasil) em 2014

Ambientes de Uso	Profundidade (m)		
	Macroporosidade (%)		
	0,00 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
Vegetação Nativa	24,82aA	14,10aB	15,14aB
Café	13,66bA	10,66abAB	8,53bB
Lavoura Convencional	11,29bcA	9,36bA	10,07bA
Pastagem 1	7,67cdA	8,31bA	10,25bA
Pastagem 2	8,79cdA	7,87bA	9,92bA
Pastagem 3	6,78dA	7,34bA	7,95bA
Porosidade Total (%)			
Vegetação Nativa	48,75aA	41,05aB	40,77aB
Café	45,06abA	42,04aA	41,74aA
Lavoura Convencional	45,35abA	43,51aA	44,00aA
Pastagem 1	43,20bA	41,39aA	43,01aA
Pastagem 2	41,71bA	39,88aA	40,85aA
Pastagem 3	41,87bA	41,40aA	42,53aA
Densidade (Mg m⁻³)			
Vegetação Nativa	1,29cB	1,47aA	1,51aA
Café	1,39bcB	1,51aA	1,46aAB
Lavoura Convencional	1,38bcA	1,46aA	1,47aA
Pastagem 1	1,46abA	1,49aA	1,43aA
Pastagem 2	1,55abA	1,60aA	1,52aA
Pastagem 3	1,49aAB	1,55aA	1,42aB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si no Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, o valor de Ma obtido na vegetação nativa foi semelhante ao exibido na área cultivada com café (Quadro 4), mas superior aos valores obtidos nos demais sistemas. Estas observações repetiram-se nas restantes profundidades avaliadas, com a diferença de que nestes casos o sistema vegetação nativa diferiu de todos os outros sem exceções.

Independentemente do sistema, maiores valores de Ma foram exibidos na camada mais superficial (0,0-0,1 m) (Quadro 4). Os resultados podem estar relacionados com a maior quantidade de raízes e serapilheira, além da maior quantidade de areia presente nesta camada, com destaque para as áreas em vegetação nativa. Diversos estudos reportam situações semelhantes às constatadas no presente trabalho para áreas de sistema de vegetação nativa, com destaque para Aguiar (2010), Luciano *et al.* (2010) e Tarrá *et al.* (2010).

A Pt não foi influenciada pelo tipo de sistema adotado nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Quadro 4). Contudo, na camada mais superficial do solo (0-0,10), os resultados obtidos na vegetação nativa foram superiores aos exibidos nas áreas com pastagens. Isto provavelmente está relacionado ao fato desta camada ser mais sujeita a alterações pelas práticas agropecuárias, sobretudo pela atividade pecuarista da região que é caracterizada por alta lotação animal sem adoção de manejos alternativos e/ou práticas edáficas para reduzir tais problemas. Portanto, o pisoteio pelo gado contribuiu para menor Pt decorrente de uma menor Ma. Lanzasova *et al.* (2007), avaliando os atributos físicos do solo em função da intensidade de pastoreio, verificaram maior redução na Pt do solo na camada de 0-0,15 m, concluindo que o resultado estava associado ao menor período de descanso da pastagem, reforçando a necessidade de práticas de manejo adequadas às áreas de pastoreio.

Já a ausência de diferenças entre lavoura convencional e vegetação nativa (Quadro 4), poderá ser devida a redução da Mi na vegetação nativa conforme o Quadro 3. Porém, tem que se ressaltar que estes resultados diferem dos observados por Carneiro *et al.* (2009) e Cunha *et al.* (2012). Esses autores reportaram em seus trabalhos que devido ao trânsito intenso de máquinas e equipamentos agrícolas, o solo das áreas cultivadas apresentava

menores valores de Ma e Pt em comparação à vegetação nativa. Outro ponto a ser salientado é que somente no sistema vegetação nativa que houve diferença em profundidade, com maior valor médio exibido na camada 0-0,10 (48,75%).

Quanto à Ds, diferenças entre os sistemas foram verificadas somente na camada de 0-0,10m (Quadro 4), com menor valor do atributo obtido no sistema vegetação nativa ($1,29 \text{ Mg m}^{-3}$), que por sua vez diferiu dos três sistemas com pastagem. Tais resultados corroboram as conclusões reportadas por Souza e Alves (2003), os quais, encontraram menores valores de Ds no sistema vegetação natural na profundidade de 0-0,10 m em seu estudo sobre diferentes usos e manejo do solo. Portanto, pode-se afirmar que os solos das pastagens avaliadas, independentemente do manejo adotado, apresentavam maior grau de compactação na camada mais superficial.

Já a ausência de diferenças entre os sistemas vegetação nativa, café e lavoura convencional pode estar relacionado a inexistência de pisoteio animal e os maiores teores de matéria orgânica obtidos na lavoura convencional (Quadro 5). Tais fatores podem ter sido fundamentais, principalmente para a lavoura, tendo em conta as consequências negativas que a mecanização agrícola promove nos atributos físicos do solo. Assim, os resultados permitem afirmar que o intenso pisoteio animal oriundo da falta de práticas adequadas de manejo podem ser mais prejudiciais que o trânsito intenso de máquinas e implementos agrícolas.

Acredita-se que a maioria das culturas seja seriamente afetada quando a Ds ultrapassa $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$, devido à falta de oxigênio para a respiração das raízes e impedimento mecânico para o crescimento destas (Sousa *et al.*, 1997). Desse modo, todos os ambientes estudados, com exceção da pastagem 2 (Quadro 3), encontram-se abaixo deste valor considerado como crítico para o desenvolvimento das plantas.

Caracterização química e atributos biológicos

Os resultados da caracterização química das áreas utilizadas no estudo estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Atributos químicos de Argissolo Vermelho-Amarelo do Bioma Amazônico brasileiro submetido a diferentes usos na camada de 0-0,10 m

Tipo de Uso	M O g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	H+Al cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	V %
Vegetação Nativa	15,88	4,57	1,59	3,14	4,95	35,98
Café	12,32	4,50	1,16	4,76	6,21	23,36
Lavoura	17,81	5,55	2,16	3,05	6,25	51,21
Pastagem 1	17,65	4,95	0,77	3,90	5,93	33,95
Pastagem 2	13,49	4,58	1,39	4,82	5,85	17,55
Pastagem 3	14,28	4,55	0,72	4,62	5,90	21,77

Houve diferenças entre os sistemas estudados para todos os atributos biológicos avaliados (Quadro 6). Para o C-CO₂ libertado, as áreas submetidas à pastagem 3 apresentaram os maiores valores (15,95 mg CO₂ g⁻¹ solo seco h⁻¹), o que representa uma liberação de carbono sob a forma de CO₂, 17,93% superior ao observado para o sistema vegetação nativa, indicando um ambiente com menor equilíbrio em função da maior atividade microbiana.

Estes resultados divergem dos relatados por Lourente *et al.* (2011), que obtiveram maiores valores de C-CO₂ em Cerrado nativo, quando comparado com pastagem e lavoura convencional. Uma hipótese para o comportamento verificado no presente estudo seria a preferência dos microrganismos por certos tipos de materiais orgânicos, dentre os quais se citam a presença de fezes e urina dos bovinos. Ademais, os teores de matéria orgânica no solo não influenciaram na respiração basal, uma vez que o sistema pastagem 3 apresentou valores de matéria orgânica menores que os observados na vegetação nativa e maiores que o sistema café (Quadro 5).

Além disso, tal afirmação é baseada e corroborada na ausência de correlação significativa entre matéria orgânica e C-CO₂ (0,326^{ns}).

Pimentel *et al.* (2006), trabalhando com floresta, pastagem e café, relataram maiores resultados de C-CO₂ em pastagem na época do verão quando comparado aos outros sistemas de produção. Do mesmo modo, vários estudos têm atribuído maiores valores de C-CO₂ em pastagem quando comparada com ambientes sob vegetação nativa (Araújo *et al.*, 2007; Carneiro *et al.*, 2008).

A disponibilidade de carbono no solo é uma importante fonte para o aumento da respiração basal, além, é claro, da influência dos fatores abióticos como umidade, temperatura e arejamento, que tendem a otimizar a atividade microbiana do solo. Vargas e Scholles (2000) relacionaram maior temperatura do solo e disponibilidade de substratos com o aumento do C-CO₂, fato esse que pode ter ocorrido no presente trabalho, já que os menores valores do atributo ocorreram na vegetação nativa

Quadro 6 - Médias dos valores de carbono do C-CO₂ libertado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólicos (qCO₂), quociente microbiano (qCmic) em diferentes usos do solo em Alta Floresta-MT (Brasil) em 2014

Tipo de Uso	C-CO ₂ (mg C-CO ₂ g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	CBM (µg C g ⁻¹ solo seco)	qCO ₂ mg CO ₂ mg ⁻¹ C dia	qCmic (%)
Vegetação Nativa	10,23b	351,77a	0,029c	3,12a
Café	9,67b	241,81bcd	0,040bc	3,43a
Lavoura	12,54ab	186,01d	0,072a	1,84b
Pastagem 1	13,71ab	222,68cd	0,061ab	2,19b
Pastagem 2	13,09ab	290,73abc	0,045abc	3,79a
Pastagem 3	15,95a	310,65ab	0,052abc	3,75a
Teste F	5,89**	12,28**	4,89**	31,60**
DMS	0,173	70,302	0,014	2,76
CV (%)	17,09	13,42	33,91	21,68

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

e café (Quadro 6), ambos com efeito de sombreamento e, conseqüentemente, temperaturas do solo mais amenas.

Assim como o C-CO₂ libertado, menores valores de $q\text{CO}_2$ foram obtidos na vegetação nativa (0,029 mg C-CO₂ g⁻¹ de solo seco h⁻¹), o que diferiu dos resultados obtidos nas áreas sob pastagem 1 (Mombaça) e lavoura (Quadro 6). Também foi observada correlação significativa e positiva entre o $q\text{CO}_2$ e C-CO₂ libertado (0,540**), o que corrobora os resultados reportados por D'Andréa (2002) em seu estudo com Cerrado nativo em comparação a outros sistemas de produção, dentre eles pastagem e lavoura.

De acordo com Souza *et al.* (2013), menores valores de $q\text{CO}_2$ indicam ambientes mais estáveis e com melhor qualidade nos atributos físicos, químicos e biológicos, indicando haver um ecossistema mais equilibrado para as áreas sob vegetação nativa. Para Anderson e Domsch (1993), esse atributo serve para estimar a eficiência do uso dos substratos pelos organismos do solo. Assim sendo, o alto valor encontrado nas áreas destinadas a prática de lavoura (Quadro 6) indica a ocorrência de distúrbios nos atributos adotados como parâmetros para a qualidade do solo, muito provavelmente em consequência do sistema de manejo utilizado.

Em relação ao CBM, os valores exibidos para o sistema de vegetação nativa foram superiores aos observados para as áreas com café, lavoura e pastagem 1 (Quadro 6). O valor do CBM obtido na vegetação nativa foi 47,12% superior aos exibidos para lavoura convencional, corroborando outros estudos (Araújo *et al.*, 2007; Lourente *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012). Ademais, altas taxas de CBM na vegetação nativa são comuns quando comparadas com outros sistemas, sobretudo com sistemas agrícolas e áreas de pecuária extensiva.

Isto pode estar relacionado com a diversidade das espécies vegetais do sistema vegetação nativa, notadamente superior aos restantes sistemas avaliados, o que proporciona maior deposição na serapilheira de materiais orgânicos. Deste modo, existe maior diversidade de compostos orgânicos depositadas na camada superficial do solo, o que favorece a sobrevivência e desenvolvimento de diferentes grupos de microrganismos no ambiente.

Desta maneira, as condições presentes do solo sob vegetação nativa, associada à ausência de perturbações decorrentes da ação antrópica, possibilitaram a existência de maiores quantidades de CBM, indicando maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema.

Levando em consideração apenas as áreas submetidas ao cultivo de forrageiras, os sistemas de pastagem 2 e 3 não apresentaram diferenças entre si (Quadro 6). No entanto, a pastagem 3 apresentou valores superiores aos observados na pastagem 1. Esses resultados assemelham-se aos relatados por Silva *et al.* (2010b), os quais constataram maiores taxas do CBM em áreas com cultivo de *Brachiaria brizantha* em comparação com áreas cultivadas por Mombaça.

No sistema lavoura, o teor de matéria orgânica observado (Quadro 5), não refletiu sobre o CBM (Quadro 6), fato este confirmado pela correlação não significativa entre o CBM e a matéria orgânica (-0,256^{ns}). Tais resultados corroboram as constatações realizadas por Silva *et al.* (2012) e Souza *et al.* (2013), que relataram não ter encontrado correlação entre os estes atributos. Verificou-se também correlação significativa, porém negativa, entre o CBM e $q\text{CO}_2$ (-0,732**), o que corrobora os resultados obtidos por Pimentel *et al.* (2006) e Souza *et al.* (2013). Ainda de acordo com Souza *et al.* (2013), os valores do CBM não são influenciados pelos teores de matéria orgânica, comportando-se como variáveis independentes e contrariando a ideia de que há uma relação estreita entre as taxas de CBM e a presença de matéria orgânica no solo.

Quanto ao $q\text{Cmic}$ constatou-se que os sistemas lavoura convencional (1,84%) e pastagem 1 (2,19%) apresentaram valores inferiores aos demais sistemas avaliados conforme o Quadro 6. Valores mais elevados de $q\text{Cmic}$ indicam que há um aumento do CBM em relação à quantidade de carbono orgânico disponível, ou seja, uma maior eficiência no seu uso pelos micro-organismos. Por outro lado, mesmo os valores obtidos nas áreas destinadas a lavoura e pastagem 1 estando de acordo com os valores normais de $q\text{Cmic}$, entre 1 e 4 % (Jakelaitis *et al.*, 2008), os resultados indicam uma maior perturbação nesses ambientes quando comparados aos outros sistemas de uso.

CONCLUSÕES

Todos os sistemas avaliados apresentam perdas nas qualidades físicas do solo em relação ao sistema nativo.

Devido às práticas de gestão, a utilização das pastagens promoveu a redução da macroporosidade e porosidade total do solo.

As áreas cultivadas com lavoura convencional apresentam menor qualidade biológica quando comparadas com os demais sistemas estudados.

Independentemente do sistema avaliado, o carbono da biomassa microbiana não foi influenciado pelo teor de matéria orgânica presente nos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R.A. (2010) – Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz, por meio de alterações físicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 40, n. 2, p. 142-149.
- Anderson, T.-H. e Domsch, K.H. (1989) – Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 21, n. 4, p. 471-479. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X)
- Anderson, T.-H. e Domsch, K.H. (1993) – The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 25, n. 3, p. 393-395. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
- Andrade, R.S.; Stone, L.F. e Silveira, P.M. da (2009) – Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 13, n. 4, p. 411-418. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>
- Aratani, R.G.; Freddi, O.S.; Centurion, J.F. e Andrioli, I. (2009) – Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 3, p. 677-687. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300020>
- Araújo, R.; Goedert, W.J. e Lacerda, M.P.C. (2007) – Qualidade de um solo sob diferentes usos e cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 5, p. 1099-1108.
- Carneiro, M.A.C.; Assis, P.C.R.; Melo, L.B. de C.; Pereira, H.S.; Paulino, H.B. e Silveira Neto, A.N. (2008) – Atributos bioquímicos em dois solos cerrado sob diferentes sistemas manejo e uso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 38, n. 4, p. 276-283.
- Carneiro, M.A.C.; Souza, E.D.; Reis, E.F.; Pereira, H.S. e Azevedo, W.R. (2009) – Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 1, p. 147-157. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Ferreira, E.P.B.; Didonet, A.D. e Moreira, J.A.A. (2012) – Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 1, p. 56-63. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>
- D'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Siqueira, J.O. e Carneiro, M.A.C. (2002) – Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 26, n. 4, p. 913-924. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400008>
- Doran, J.W. e Parkin, T.B. (1994) – Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicsek, D.F. e Stewart, B.A. (Eds.) – *Defining soil quality for sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison. p. 3-21.
- Doran, J.W. e Linn, D.M. (1994) – Microbial ecology of conservation management systems. In: Hatfield, J.L. e Stewart, B.A. (Eds.) – *Soil biology: effects on soil quality*. Advances on Soil Science, CRC, Madison. p. 3-21.
- Embrapa (2013) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília, 353 p.
- Embrapa (1997) – *Manual de métodos de análise de solos*. 2.^a ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212 p.

- IUSS (2006) – *World reference base for soil resources 2006*. IUSS Working Group WRB. Rome: Food and Agriculture Organization. 128 p. (World soil resources report, 103)
- Jakelaitis, A.; Silva, A.A.; Santos, J.B. e Vivian, R. (2008) – Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 38, n. 2, p. 118-127.
- Lanzanova, M.E.; Nicoloso, R.S.; Lovato, T.; Eltz, F.L.F.; Amado, T.J.C. e Reinert, D.J. (2007) – Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 5, p. 1131-1140. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>
- Lourente, E.R.P.; Mercante, F.M.; Alovisei, A.M.T.; Gomes, C.F.; Gasparini, A.S. e Nunes, C.M. (2011) – Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 41, n. 1, p. 20-28. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>
- Luciano, R.V.; Bertol, I. Barbosa, F.T.; Kurtz, C. e Fayad, J.A. (2010) – Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. *Revista de Ciências Agro-veterinárias*, vol. 9, n. 1, p. 9-19.
- Oliveira, G.C.; Severiano, E.C. e Mello, C.R. (2007) – Dinâmica da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho da microrregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 11, n. 3, p. 265-270. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300004>
- Oliveira, J.R.A.; Mendes, I.C. e Vivaldi, L. (2001) – Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 4, p. 863-871. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000400009>
- Pimentel, M.S.; Aquino, A.M.; Correia, M.E.F.; Costa, J.R.; Ricci, M.S.F. e De-Polli, H. (2006) – Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em Região do Médio Paraíba Fluminense-RJ. *Coffee Science*, vol. 1, n. 2, p. 85-93. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v1i2.23>
- Raij, B.V.; Andrade, J.C.; Cantarella, H. e Quaggio, J.A. (2001) – *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p.
- Reichert, J.M. Suzuki, L.E.A.S. e Reinert, D.J. (2007) – *Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação*. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, vol. 5, p. 49-134.
- Rice, C.W.; Moorman, T.B. e Beare, M. (1996) – Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.) – *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Madison, p. 203-215.
- Silva, C.F.; Pereira, M.G.; Miguel, D.L.; Feitora, J.C.F.; Loss, A.; Menezes, C.E.G. e Silva, E.M.R. (2012) – Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 36, n. 6, p. 1680-1689. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002>
- Silva, A.P.; Babujia, L.C.; Franchini, J.C.; Souza, R.A. e Hungria, M. (2010a) – Microbial biomass under various soil- and crop management systems in short- and long-term experiments in Brazil. *Field Crops Research*, vol. 119, n. 1, p. 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.012>
- Silva, R.R.; Silva, M.L.N.; Cardoso, E.L.; Moreira, F.M.S.; Curi, N. e Alovisei, A.M.T. (2010b) – Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 34, n. 6, p. 1585-1592.
- Sousa, L.S.; Cogo, N.P. e Vieira, S.R. (1997) – Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 3, p. 367-372. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300003>
- Souza, M.F.P.; Silva, M.P.; Arf, O. e Cassiolato, A.M.R. (2013) – Chemical and biological properties of phosphorus-fertilized soil under legume and grass cover (Cerrado region, Brasil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 37, n. 6, p. 1492-1501. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600006>
- Souza, M.S. e Alves, M.C. (2003) – Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Acta Scientiarum: Agronomy*, vol. 25, n. 1, p. 27-34. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v25i1.2339>
- Sparling, G.P. (1992) – Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 30, n. 2, p. 195-207. <http://dx.doi.org/10.1071/SR9920195>

- Tarrá, I.L.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.V.; Teixeira, W.G.; Morais, W.J. e Castro, J.G.D. (2010) – Tempo de uso em pastagens e volume dos macroporos do solo na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, vol. 14, n. 6, p. 678-683. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600015>
- Trannin, I.C. de B.; Siqueira, J.O. e Moreira, F.M.S. (2007) – Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 5, p. 1173-1184. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500032>
- USDA (1960) – *Soil classification: a comprehensive system: 7th approximation*. Washington, Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. 265 p.
- Vance, E.D.; Brookes, P.C. e Jenkinson, D.S. (1987) – An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 19, n. 6, p. 703-707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Vargas, L.K. e Scholles, D. (2000) – Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um solo Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 24, n. 1, p. 35-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000100005>
- Vezzani, F.M. e Mielniczuk, J. (2009) – Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 4, p. 743-755. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>