

Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana

Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment

Valdinar Ferreira Melo¹, Danielly Teixeira da Silva², Ariane Evald^{3*}, Paulo Roberto Ribeiro Rocha⁴

Resumo: A preocupação ambiental tem levado a comunidade agrícola a buscar manejos que visam a manutenção ou melhoria da qualidade dos solos agrícolas. Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade do solo (QS), por meio de atributos químicos e microbiológicos, submetido a diferentes sistemas de uso, sendo: pomar de coqueiros (CO), cultivo de cana-de-açúcar (CA), cultivo em consórcio de mandioca, milho e feijão-caupi (MMF), florestamento com sabiá (FS) e, como referência, a savana natural (SN). Em cada sistema, foram abertas quatro minitrincheiras e coletadas amostras de solos nas profundidades de 0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m. Avaliaram-se nas amostras características químicas e microbiológicas. Observando que as formas de uso do solo proporcionaram melhoria da fertilidade do solo e do teor de MOS, quando comparados com as condições naturais de savana, sendo essas alterações mais evidentes nas camadas de 0,00 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m, com destaque para o cultivo em consórcio MMF. Os sistemas de manejos CA e MMF mostraram-se eficientes no aporte de MOS, podendo vir a ser usados como forma de incremento de MO nos solos de savana em Roraima. Os sistemas MMF, CA e FS apresentaram aumento do C-BMS, com maior evidência nas primeiras camadas (0,0-0,05 e 0,05-0,10 m). As formas de uso do solo proporcionaram, em alguma medida, melhoria da fertilidade do solo e do teor de MOS, quando comparados com as condições naturais da savana.

Palavras-chave: Carbono do solo. Cultivo consorciado. Uso da terra.

Abstract: Environmental concern has led the agricultural community to search soil management systems aimed at maintaining or improving the quality of agricultural soils. The objective of this study was to evaluate soil quality (QS), by means of chemical and microbiological attributes under different use systems, natural savannah, planting sugarcane, forestation with sabiá, intercropping manioc + corn + beans cowpea (MCB) and coconut planting. The study was developed in the Campus Cauamé UFRR. In each area were opened four mini-trench and soil samples collected at depths from 0.0 to 0.05 m, 0.05 to 0.10 m, 0.10 to 0.20 m and from 0.20 to 0.40 m. The samples were subjected to chemical analysis, soil organic matter (SOM) and microbiological. Noting that forms land use provide improved soil fertility and of the content of MOS, when compared with the natural conditions of savannas, these being more Evident in the layers of 0.00 - 0.05 and 0.05 - 0.10 m, with emphasis on cultivation in an MMF consortium. The CA and MMF management systems were efficient the use of MOS, and could be used as form of MO increase in savanna soils in Roraima. The MMF, CA and FS systems presented Increased C-BMS, with greater evidence in the first layers (0.0-0.05 and 0.05-0.10 m). As forms of proportional land use, to some extent, improved soil fertility and MOS Compared with the natural conditions of the savanna noting that land use forms provide improved soil fertility and of the content of MOS, when compared with the natural conditions of savannas.

Key words: Intercropping cultivation. Land use. Soil carbon.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 13/09/2016 e aprovado em 17/02/2017

¹Professor Associado, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFRR, Campus Cauamé, Boa Vista-RR, CEP 69240-000. valdinar@yahoo.com.br.

²Bióloga, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFRR, Campus Cauamé, Boa Vista-RR. danysilvabio@gmail.com.

³Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. arianeevald@gmail.com. Autor correspondente.

⁴Professor Adjunto, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFRR, Campus Cauamé, Boa Vista-RR, CEP 69240-000. Paulo.ribeiro@ufr.br

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo (QS) é uma temática amplamente discutida na literatura, principalmente no que diz respeito à sua definição e ao conjunto de atributos que podem mensurá-la, levando em consideração a grande diversidade química, física e especialmente aqueles atributos relacionados à biodiversidade. Maia (2013) definiu que a QS é avaliada em detrimento das inúmeras funções que o solo desempenha no crescimento e desenvolvimento das plantas. Vezzani e Mielniczuk (2009) ressaltam que a QS é a relação entre as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, haja vista que o bom funcionamento dessas propriedades permite ao solo exercer suas funções.

Práticas isoladas de manejo não aumentará a QS, que só ocorrerá com o uso de manejos integrados (FLIEBBACH *et al.*, 2007). Contudo, manter o nível desejável de QS não é uma tarefa fácil, visto os inúmeros fatores que lhe influenciam, tais como clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre esses (LIMA *et al.*, 2013; CHERUBIN *et al.*, 2015).

A utilização de práticas agrícolas que adotem a adubação e a correção dos solos promovem alterações químicas, principalmente na camada superficial do solo, geralmente com intensidade proporcional ao emprego de máquinas nos sistemas (SILVA *et al.*, 2011). Os atributos químicos mais utilizados como indicadores da QS, são o índice de pH, concentração de Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P disponível, N total e micronutrientes. A qualidade química do solo expressa sua importância por influir diretamente na nutrição das plantas, consequentemente, interfere na produtividade dos sistemas agrícolas (ALVARENGA; DAVIDE, 1999). Dentre os indicadores de QS avaliados, a MOS tem sido considerada como indicador chave, isso porque apresenta sensibilidade a modificações resultantes das ações antrópicas, como também possui interação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (COSTA *et al.*, 2008; CHERUBIN *et al.*, 2015).

Com o aumento das pesquisas na área de microbiológica do solo, os atributos biológicos têm apresentado um bom desempenho como indicador de mudanças de QS, visto sua alta sensibilidade em detectar mudanças, mesmo que mínimas, no manejo do solo (MENDES *et al.*, 2012). Cunha *et al.* (2011) mencionam que esses atributos permitem medir condições de desequilíbrio ou equilíbrio de um determinado ambiente. Já Mendes *et al.* (2012) ressaltam a importância dos microrganismos do solo como principais reguladores na ciclagem dos nutrientes.

Nas savanas de Roraima, as modificações decorrentes tanto da queima da vegetação de cobertura do solo quanto da erosão resultante de práticas de manejo inadequadas têm refletido negativamente nos atributos do solo. Essas alterações têm efeitos negativos no desenvolvimento das culturas com impedimento ao desenvolvimento radicular e impondo limitações por restrições hídricas (MELO *et al.*, 2010).

Entre os diversos atributos, o conhecimento do funcionamento biológico e da ecologia microbiana dos solos de savana do Norte Amazônica constitui-se em um vazio científico que precisa ser investigado, tendo em vista a expansão das atividades agrícolas nesses ambientes, o que demanda com urgência a eliminação dessa lacuna com o direcionamento para uma exploração agrícola sustentável.

Com base no exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade do solo, por meio de atributos químicos e biológicos, submetido a diferentes sistemas de uso, tendo a savana como referência.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Campus Cauamé, da Universidade Federal de Roraima (UFRR), BR 174, Boa Vista – RR, coordenadas geográficas de referência 02° 52' 07" N e 60° 42' 38" W. O solo é do tipo Latossolo Amarelo distrocoeso, inseridos no domínio de savana, que se caracteriza por uma cobertura vegetal rasteira, gramínea, descontínua e com ocorrência de espécies arbóreas, predominando a *Curatella amaricana* e *Byrsonima coccolobifolia* (BENEDETTI *et al.*, 2011).

Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao caso, com cinco tratamentos avaliados em quatro profundidades. Os tratamentos consistiram dos seguintes sistemas: Pomar de coqueiro (*Cocos nucifera*) (CO), com dez anos, em sistema de base agroecologia, empregando composto orgânico feito à base de esterco bovino, palhada e fosfato natural na sua fertilização; Cultivo de cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*) (CA), por oito anos, em sucessão a cultivo de hortaliças com elevada aporte de esterco; Cultivo consorciando de milho (*Zea mays*), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) (MMF) por mais de dez anos, após a erradicação de plantação de banana; Florestamento com Sabiá (FS) (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) por mais de 20 anos, que recebeu adubação e correção apenas no início do plantio; e a savana natural (SN).

Em cada ambiente de estudo, após o período chuvoso, foram abertas quatro minitrincheiras alocadas de forma aleatória, distanciadas entre si por 10 m, com formato quadrangular, representando as unidades amostrais (pseudo-repetições). Em cada trincheira foram coletadas amostras do solo nas camadas de 0,00 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, totalizando 16 amostras de solo por sistema.

O pH foi determinado em água utilizando-se proporções de 1:2,5 (v/v) de solo: solução. Os cátions trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}), extraídos em KCl 1 mol L⁻¹, determinados por espectrometria de absorção atômica. O Al^{3+} , extraído por KCl 1 mol L⁻¹, foi determinado volumetricamente por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. A acidez potencial foi determinada após extração com acetato de cálcio 0,5 mol

L⁻¹ a pH 7,0, sendo o H⁺ e Al quantificados por titulação com NaOH. P, K⁺ e Na⁺ foram extraídos por extrator Mehlich-1, determinando-se o K⁺ e o Na⁺ por fotometria de chama e o P por colorimetria (EMBRAPA, 2009). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions total (T) e efetiva (t), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). O N total do solo foi determinado pelo método de destilação Kjedahl, já o carbono orgânico total foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988) (EMBRAPA, 2009).

A avaliação da respiração basal do solo (RBS) se deu por meio do CO₂ evoluído com extração pelo NaOH (JENKINSON; POWLSON, 1976), a primeira titulação foi efetuada após 5 dias, sendo realizada, durante o experimento, seis leituras para cada amostra, espaçadas de 5 dias. O C da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da fumigação-extração proposto por Vance *et al.* (1987), no qual a biomassa microbiana em 20 g de solo é estimada com base na diferença do fluxo de CO₂ de amostras fumigadas com clorofórmio e não fumigadas.

Para a extração de DNA de solo foi utilizado o protocolo do Kit NucleoSpin® Soil da Macherey – Nagel. Para a realização da PCR o protocolo e o programa utilizado no laboratório da Embrapa-RR para a reação de PCR foi adaptado do método de Peixoto Neto *et al.* (2002). As sequências dos iniciadores e do grampo GC que foram utilizadas são: Primers sequência: L1401 5'-GCGTGTGTACAAGACCC-3' (5'- GCGGGGGCGCGCCCU968-GCGGGCGG GGCGGGGGCACGGGGGGAACGCGAAGAACCT CAC-3'.

Para a realização da Eletroforese em Gel com Gradiente de Desnaturantes (DGGE) foi utilizado o protocolo Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) Protocol de Milan Macek M.D. for Hum Mutation 9: 136/1997.

Os experimentos com DGGE foram realizados com o equipamento “Dcode™ Universal Mutation Detection System” (BIO-Rad, Richmond, EUA). O gradiente do gel desnaturante foi ajustado de acordo com o fragmento de DNA amplificado por PCR. O gel utilizado foi de poli(acrilamida) com um gradiente linear de desnaturantes de 40 a 60%, formados a partir de soluções estoque de poli(acrilamida) (6%), uma com 0% e outra contendo 100% dos agentes desnaturantes (100% que corresponde a 420g de ureia e 40% de formamida deionizada), conforme foi calculado.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Além disso, todos os tratamentos foram comparados com a área de Savana, aplicando o teste de Dunnett ($p < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o software Sisvar versão 5.5 (FERREIRA, 2011). A análise de componente principal (PCA) foi realizada utilizando o Software IfoGen 2012 (BALZARINI; DI RIENZO, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Maiores valores de pH foram encontrados nos sistemas de cultivo com CA, MMF e CO, com acidez fraca, nas três primeiras camadas do solo (Tabela 1). O aumento do pH, nesses sistemas, está diretamente relacionado com as práticas adotadas, principalmente a calagem. Em relação à área de referência apenas o tratamento FS não diferiu estatisticamente.

O aporte de C decresceu com o aumento da profundidade para todos os tratamentos (Tabela 1). O sistema CA apresentou maiores teores de C nas três primeiras profundidades (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) avaliadas, já na camada de 0,20-0,40 não houve variação estatística entre os tratamentos. Quando comparado à área de referência, na primeira camada, apenas o tratamento FS não diferiu estatisticamente.

Os teores de N total foram superiores nos sistemas CA e MMF, com pouca variação entre as camadas, apenas o tratamento FS não apresentou diferença em relação à área de referência. Nas duas últimas camadas, apenas o tratamento CA diferiu em relação à área de referência, isso demonstra a eficiência da cultura em incorporar N em profundidade no solo, fator atribuído ao sistema radicular bem desenvolvido da cultura da cana (Tabela 1). A rotação de cultura em MMF intercalado com leguminosa e o cultivo de hortaliças anterior que antecedeu ao sistema CA, bem como as adubações realizadas, são fatores que podem ter contribuído para os melhores teores de N nesses sistemas. Outro fator que pode ter contribuído para esses resultados são os maiores teores de C e MOS (Figura 1), presentes nesses tratamentos.

Os teores de P disponível não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos na primeira camada (Tabela 1). A ausência de significância estatística se deve ao elevado coeficiente de variação (CV), que pode ser explicado pela variabilidade de P dentro das áreas, comum a esse elemento em razão da dose, fonte e forma de aplicação do P (Tabela 1). Elevado coeficiente de variação para o P, também, foi observado por Cherubin *et al.* (2015). Os teores de P disponível, exceto para FN e SN, podem ser considerados alto. Nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, apenas o tratamento CA apresentou significância em relação à testemunha, aqui, vale a pena ressaltar o sistema radicular interferindo na descida do P.

Os solos de Roraima têm baixa disponibilidade de nutrientes (MELO *et al.*, 2006; MELO *et al.*, 2010; BENEDETTI *et al.*, 2011), apresentando baixos teores de P e demais nutrientes essenciais para o desenvolvimento da agricultura, diante dessa condição, o emprego de adubos é a principal prática a ser considerada para o uso e sustentabilidade desses solos.

Os valores mais altos de MOS em CA e MMF (Figura 1), em comparação aos demais sistemas, aumentaram a

Tabela 1 - Valores médios de pH, carbono (C), nitrogênio (N) fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), (H+Al) nas diferentes profundidades do solo para quatro sistemas de cultivo e a savana natural

Table 1 - Average of pH values, carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al), (M + Al) in different soil depths according to different culture systems

Sistemas	pH	C	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al ³⁺
	H ₂ O	dag kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
0,0-0,05 m									
CO	5,97A*	1,95AB*	0,30B*	178,48A	0,08B	1,96A*	0,12C	0,00B*	1,50C*
CA	6,10A*	2,65A*	0,70A*	113,58A	0,14A*	2,82A*	0,99A*	0,00B*	2,03C*
MMF	5,98A*	1,99AB*	0,70AB*	65,50A	0,18A*	2,83A*	0,93A*	0,00B*	3,40B
FS	4,33B	1,45B	0,45AB	4,38A	0,10AB*	0,64B*	0,28B	0,53A*	5,90A*
SN	4,84	0,92	9,20	0,40	0,03	0,47	0,19	0,22	3,70
DMS	0,77	0,98	0,04	306,65	27,41	1,23	0,14	0,18	1,21
CV%	6,21	21,95	34,94	153,47	25,82	27,11	10,63	63,78	17,15
0,05-0,10 m									
CO	5,42AB	1,09A	0,5A	93,48AB	0,04A	1,26AB	0,07B	0,17B	1,73C*
CA	5,98A*	1,57A*	0,7A*	142,78A*	0,06A	2,44A*	0,65A*	0,00B*	2,20BC*
MMF	6,27A*	1,11A	0,6A*	67,28AB	0,06A	2,38A*	0,58A*	0,00B*	2,98B
FS	4,62B	0,92A	0,5A	3,10 B	0,04A	0,26B	0,12B	0,74A*	5,13A*
SN	4,69	0,92	2,00	0,28	0,02	0,40	0,07	0,38	3,80
DMS	1,26	0,72	0,04	130,82	24,10	1,28	0,23	0,29	1,10
CV%	10,38	27,79	28,57	77,28	51,36	36,83	30,00	58,33	16,60
0,10-0,20 m									
CO	5,32AB	0,77B	0,40B	33,80B	0,02B	0,84 BC	0,06B	0,12A	1,73C
CA	5,91A*	1,22A*	0,90A*	127,33A*	0,04A*	2,67A*	0,43A*	0,00B*	1,90BC
MMF	6,32A*	0,60B	0,40B	52,35BA	0,04A*	1,63AB*	0,44A*	0,00B*	2,63B
FS	4,36B	0,63B	0,30B	00,90B	0,02AB	0,22 C	0,12B	0,69A	4,18A
SN	4,83	0,76	0,20	00,73	0,01	0,25	0,04	0,41	3,70
DMS	1,04	0,36	0,04	84,28	9,87	1,00	0,26	0,26	0,85
CV%	8,57	19,99	34,64	68,67	37,47	36,74	45,93	58,96	14,70
0,20-0,40 m									
CO	4,80B	0,41A	0,40B	14,05AB	0,01A	0,41BC	0,04B	0,29AB	1,73B*
CA	5,80A*	0,34A	0,80A*	59,85A*	0,03A	1,53A*	0,28A*	0,00B*	1,80B*
MMF	6,21A*	0,20A	0,40B	47,80AB	0,04A	1,22AB*	0,34A*	0,00B*	2,60AB
FS	4,65B	0,25A	0,40B	00,88B	0,01A	0,23C	0,10B	0,50A	3,63A
SN	4,70	0,33	0,30	00,28	0,01	0,02	0,02	0,55	3,50
DMS	0,79	0,48	0,03	53,77	7,02	0,64	0,11	0,36	1,23
CV%	6,74	41,28	31,79	79,46	36,61	33,97	25,11	83,02	22,81

CO- pomar de coqueiro, CA-cultivo de cana-de-açúcar, MMF-cultivo em consórcio de mandioca, milho e feijão-caupi, FS-florestamento com sabiá, SN-savana natural: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); e médias as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da área de referência pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

CO-coconut orchard, CA-sugarcane cultivation, MMF-cultivation in consortium of manioc, maize and cowpea, FS-natural savanna; Means followed by the same letter do not differ by the test of Tukey ($p \leq 0,05$); And averages followed by an asterisk (*) differ significantly from the reference area by the Dunnett test ($p < 0,05$).

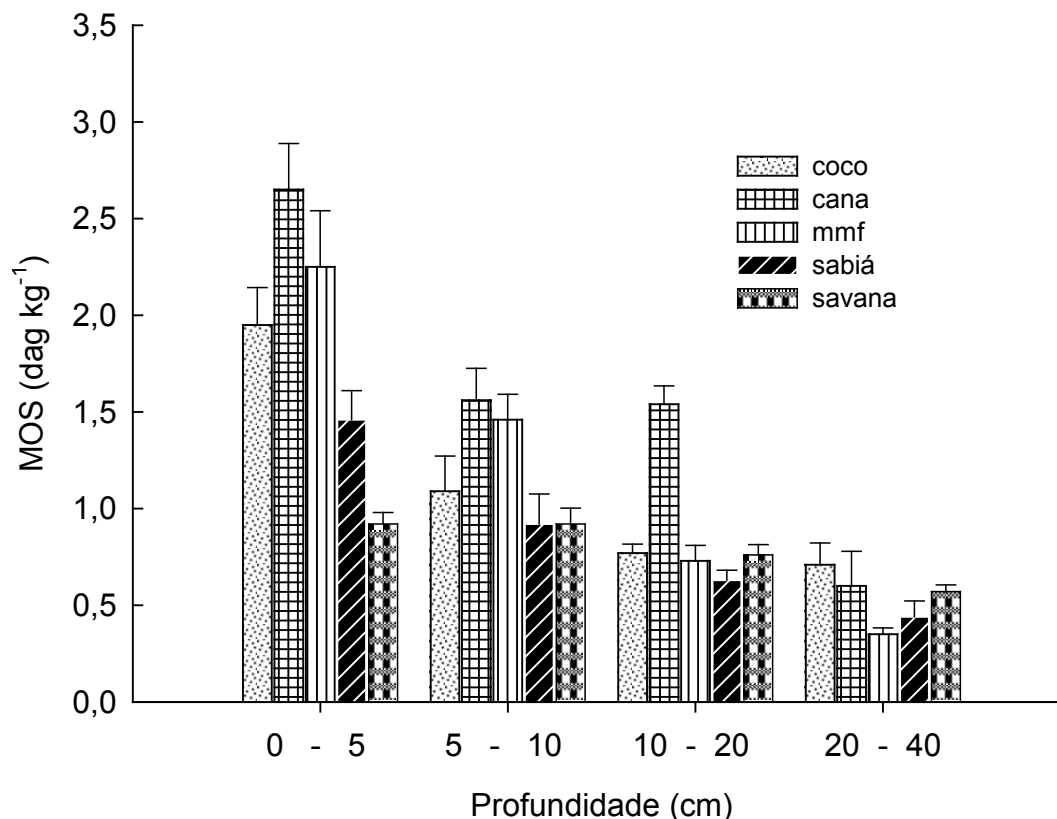


Figura 1 - Matéria orgânica do solo (MOS) em diferentes profundidades do solo em função dos sistemas de cultivo. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Figure 1 – Soil organic matter (SOM) in different soil depths in function of cropping systems. Vertical bars represent the mean standard error.

CTC do solo (Tabela 2). Segundo Novais e Kamprath (2007), esse aumento reflete na maior adsorção de cátions e, conseqüentemente, liberação de íons fosfato. Os menores valores de MOS e pH se relacionaram com o menor teor de P para FS e SN. O sistema CO manteve valores intermediários para as três variáveis citadas.

Observaram-se maiores valores nas camadas 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m para os teores de K^+ disponíveis (Tabela 1). Na camada de 0,00-0,05 m, os tratamentos MMF e CA apresentaram os maiores teores do nutriente, com diminuição gradativa em profundidade, cuja redução igualou-se aos teores dos sistemas FS e SN, nos quais não houve aporte de fertilizantes e calcário. Assim, a fertilidade dos sistemas está concentrada na profundidade de até 0,10 m do solo. O aumento da MOS e, por conseguinte, da CTC do solo em MMF e CA, na camada de 0,00-0,05 m, favoreceu, assim, a adsorção de K^+ e o aumento da sua disponibilidade de K^+ (Tabela 1).

As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis tiveram comportamento semelhante entre os sistemas e camadas

(Tabela 1), apresentando diminuição dos valores com o aumento da profundidade. Maiores valores foram encontrados em MMF e CA, sendo que esses tratamentos se diferenciaram em todas as camadas da SN.

O teor de Al^{+3} foi superior em FS e em todas as camadas avaliadas (Tabela 1), diferindo de forma significativa da SN nas duas primeiras camadas, apresentando maiores concentrações. Os menores teores de Al^{+3} se deram em CA e MMF, em todas as profundidades. Os resultados encontrados, tanto para Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e Al^{+3} , estão relacionados à ação da calagem realizada anteriormente a introdução das culturas.

No sistema FS, verificaram-se as maiores concentrações de H^+Al^{+3} para as profundidades superficiais e menores para as zonas mais profundas do solo. Os outros tratamentos tiveram resultados semelhantes nas diferentes profundidades, contudo, apresentaram diferenças entre si, dentro de cada profundidade, com o tratamento CO apresentando as menores concentrações. O decréscimo da MOS para o tratamento FS refletiu na diminuição da CTC

Tabela 2 - Valores de CTC, soma de base (SB), saturação por base (V) e saturação por alumínio (M), em diferentes profundidades do solo em função dos sistemas cultivo

Table 2 - CEC values, sum of base (SB), base saturation (V) and aluminum saturation (M) in different soil depths in function of farming systems

Tratamentos	SB	CTC a pH 7,0	V	M
-----cmol _c kg ⁻¹ -----		-----%-----		
0,00-0,05 m				
CO	2,19 b*	3,69 B	36,38B*	0,00B*
CA	3,96 a*	5,98 A*	56,82A*	0,00B*
MMF	3,93 a*	7,33 A*	45,87B*	0,00B*
FS	1,02 b	6,91 A*	7,48C	53,00A
SN	0,68	4,04	8,07	45,00
CV%	22,01	12,77	33,03	71,95
0,05-0,10 m				
CO	1,35 B	3,08 B	45,68B*	13,05B*
CA	3,17A*	5,37 A	56,97A*	0,00B*
MMF	3,03 A*	6,00 A*	45,83B*	0,00B*
FS	0,42 B	5,54 A	10,17C	59,43A
SN	0,24	4,04	5,58	62,23
CV%	33,37	15,34	33,03	71,95
0,10-0,20 m				
CO	1,62BC	3,34B*	47,32B*	5,32B*
CA	3,41A*	5,31A	64,20A*	0,00B*
MMF	2,27AB*	4,90A	45,29B*	0,00B*
FS	0,48C	4,65A	10,19C	59,21A
SN	0,63	4,33	13,95	42,38
CV%	36,49	13,43	33,03	71,95
0,20-0,40 m				
CO	1,14B	2,86B*	38,71B*	21,50B*
CA	2,62A*	4,42A	59,65A*	0,00B*
MMF	2,73A*	5,33A	49,72B*	0,00B*
FS	0,58B	4,20A	12,92C	54,66A
SN	0,33	3,83	7,95	67,95
CV%	30,28	16,94	33,03	71,95

CO- pomar de coqueiros, CA-cultivo de cana-de-açúcar, MMF-cultivo em consórcio de mandioca, milho e feijão-caupi, FS-florestamento com sabiá, SN-savana natural: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); e médias as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da área de referência pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

CO-coconut orchard, CA-sugarcane cultivation, MMF-cultivation in consortium of manioc, maize and cowpea, FS-natural savanna; Means followed by the same letter do not differ by the test of Tukey ($p \leq 0.05$); And averages followed by an asterisk (*) differ significantly from the reference area by the Dunnett test ($p < 0.05$).

do solo ao longo da profundidade. Consequentemente, com a diminuição das cargas negativas, há uma menor adsorção de cátions como $H+Al^{+3}$.

Os valores de MOS foram superiores para as áreas CA e MMF, nas diferentes profundidades (Figura 1). Valores menores foram observados para os tratamentos CO, FS e área de referência.

Os manejos adotados nos tratamentos CA (adubação orgânica) e MMF (rotação de culturas) favoreceram para obtenção desse resultado, mostrando-se eficientes no aporte MO no solo. Esses resultados indicam a necessidade da adoção de práticas que visem a manutenção e incremento de MOS, haja vista a contribuição que a MO desempenha em todos os compartimentos do solo (VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, 2011). A baixa fertilidade do solo e as ações de queima constante da vegetação nativa têm contribuído para os baixos teores de carbono nesses solos (MELO *et al.*, 2006).

O comportamento observado na maior profundidade estudada (0,20 m a 0,40 m) deve-se, principalmente, ao incremento de MOS via raízes das plantas. Os tratamentos CO e CA, por apresentarem sistema radicular fasciculado e profundo, incrementam maior aporte de MOS em profundidade no solo, viabilizando, assim, uma distribuição de MO no perfil do solo.

As culturas do MMF e CA apresentaram maiores valores de CTC a pH 7 devido aos maiores teores de MOS encontrados nas diferentes profundidades. Como a classe de solo foi a mesma para todos os sistemas, a MOS é responsável pelo aumento de cargas negativas do solo e, consequentemente, maior adsorção de cátions ao complexo de troca. Os tratamentos coco e savana resultaram em valores inferiores de CTC em relação aos demais em virtude do menor incremento de MO ao solo.

A saturação por bases (V%) apresentou maiores valores para CA, CO e MMF (Tabela 2), diferindo da área de referência em todas as camadas avaliadas, esse resultado mostra a eficiência do manejo adotado nesses tratamentos em elevar os teores de bases no solo. Já o tratamento FS não diferiu da área de referência, esse resultado pode ser explicado pela falta de correção da acidez na área, visto que a última correção ocorreu há mais de 20 anos.

Valores mais elevados para saturação por alumínio (m%) foram encontrados para os tratamentos FS e a área de referência (Tabela 2). Valores inferiores foram observados no CO. A m% apresentou-se nula para as culturas da CA e MMF. Este resultado é explicado pelo manejo específico ocorrido em cada tratamento.

O C-BMS diferiu estatisticamente entre os sistemas, sendo possível observar decréscimo no C-BMS com o aumento da profundidade (Tabela 3).

O C-BMS foi maior em MMF, CA e FS nas primeiras camadas avaliadas (0,0-0,05 e 0,05-0,10 m), diferindo da área de referência, esse resultado mostra que os sistemas

Tabela 3 - Carbono Biomassa microbiana do solo (C-BMS) nas diferentes profundidades do solo em função dos diferentes sistemas de cultivo

Table 3 - Carbon Soil microbial biomass (C-BMS) at different soil depths depending on the different cropping systems

Sistemas de cultivo	C-BMS ($\mu\text{gC kg}^{-1}$ solo)			
	profundidade (m)			
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
CO	817,89 B	1159,25 B	272,86 C	156,34 C
CA	3589,56 A*	2929,06 A*	2306,38 A*	1067,35 A*
MMF	3629,36 A*	2320,98 A*	1886,96 AB*	1239,46 A*
FS	2891,19 A*	2316,43 A*	884,44 BC	635,16 B*
SN	754,24	731,80	717,67	87,50
DMS	884,43	763,59	1301,35	252,71
CV (%)	14,66	15,85	44,05	14,77

CO- pomar de coqueiros, CA-cultivo de cana-de-açúcar, MMF-cultivo em consórcio de mandioca, milho e feijão-caupi, FS-florestamento com sabiá, SN-savana natural: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); e médias as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da área de referência pelo teste de Dunnnett ($p < 0,05$).

CO-coconut orchard, CA-sugar cane cultivation, MMF-cultivation in consortium of manioc, maize and cowpea, FS-natural savanna; Means followed by the same letter do not differ by the test of Tukey ($p \leq 0.05$); and averages followed by an asterisk (*) differ significantly from the reference area by the Dunnnett test ($p < 0.05$).

de cultivo melhoram quantitativamente a comunidade microbiana do solo, o que pode ser atribuído aos maiores valores de MOS encontrados nesses sistemas (Figura 1). Em relação às profundidades, os diferentes usos de solo apresentaram redução no C-BMS conforme aumento da profundidade. Esse resultado pode ser explicado pelo maior teor de MOS nas primeiras camadas (Figura 1), conforme Fialho *et al.* (2006). Para Silva e Mendonça (2007), existe uma tendência da biomassa microbiana do solo (BMS) ser mais elevada na camada superficial do solo, devido maior presença de MOS, água e nutrientes.

A maior presença de microrganismos representa maior dinâmica no solo, visto que esses organismos são os principais responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, com influência na ciclagem dos nutrientes, fluxo de energia no solo e reserva lábil de C no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; MENDES *et al.*, 2012). Sendo assim, sistemas que visam a aumentar o aporte de MOS, consequentemente maior BMS, tendem a apresentar melhorias na QS (CHERUBIN *et al.*, 2015). Li *et al.* (2013), em estudos realizados na China em Plantio de arroz, recomendam manejos de solo e adubações que visem aumentar o aporte de MOS.

A análise multivariada determinada pelo ajuste de comportamento dos componentes principais (Figura 2) mostra que os componentes químicos indicadores da fertilidade do solo e a MOS formaram agrupamentos entre os tratamentos CA, MMF e CO, na camada de 0 – 0,10 m.

Nas maiores profundidades, os indicadores de acidez e saturação por alumínio formaram agrupamentos com a SN. A maior parte da variabilidade foi explicada nos dois primeiros componentes ($61,1 + 17,5 = 78,6$ %). Segundo Cruz e Regazzi (2001), em estudos de ACP, almeja-se que 70 % da variação total acumulada seja explicada pelos dois primeiros componentes.

O perfil de bandas gerado pelo PCR- DGGE (codifica o 16s rRNA), obtidos para as amostras de solo, demonstram que os tratamentos formaram três grandes grupos principais, refletindo que os sistemas não foram responsáveis por grandes variações nas populações microbianas (Figura 2).

Pela análise do dendrograma (Figura 3), os três grandes grupos formados são: o primeiro grupo engloba as amostras de MMF (0,0-0,05 m) x CO (0,00-0,05 m); o segundo grupo engloba as amostras de CO (0,05-0,10 m) x Savana (0,05-0,10 m) x MMF (0,0-0,05 m); e o terceiro agrupamento engloba as amostras de FS (0,05 – 0,10 m), SN (0,0 – 0,05 m) e CA (0,0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m).

Uma maior similaridade (99%) foi apresentada entre SN e CO na profundidade de 0,05 - 0,10 m. As demais amostras agrupam-se aos índices que variam de 85 a 96% de similaridade. Avaliando a divergência entre os perfis de DGGE gerados, observou-se que em todos os replicados, as bandas indicam que os solos apresentaram, em sua diversidade bacteriana, poucos membros e cada amostra caracterizou a presença de uma mesma comunidade bacteriana. Dessa forma, não foi possível verificar, para o

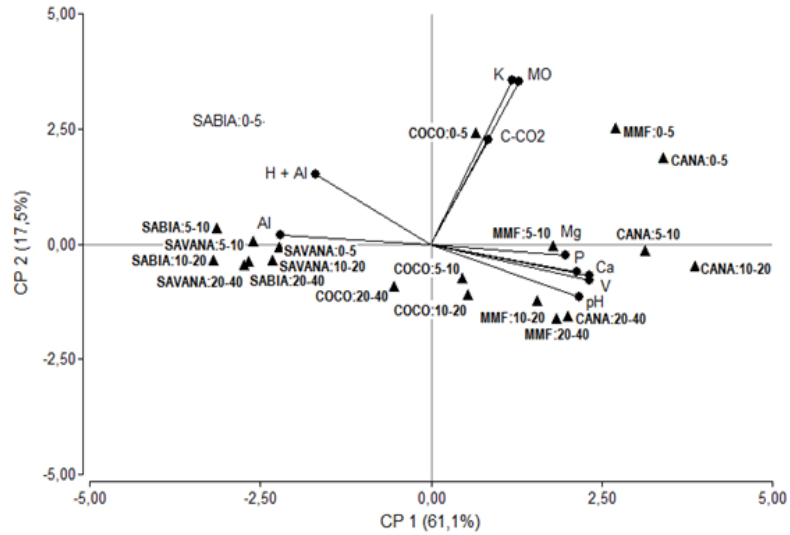


Figura 2 - Análise dos componentes principais (CP-1 e CP-2) dos resultados químicos, matéria orgânica e respirometria do solo: os pontos representam os sistemas de uso do solo, nas camadas, e as setas o ordenamento das variáveis.

Figure 2 - Analysis of the main components (CP-1 and CP-2) results of chemical, organic matter and soil respirometry: the dots represent the land use systems, with its layer, and the arrows the ordering of the variables.

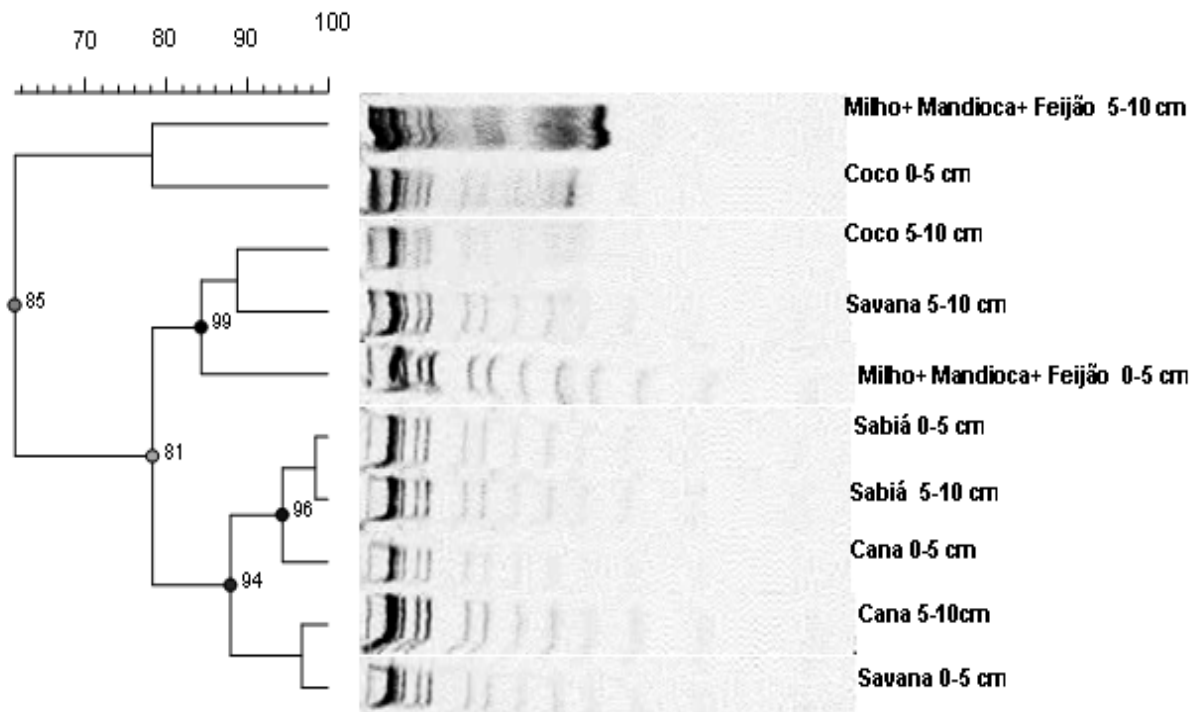


Figura 3 - Dendrograma construído pelo coeficiente de correlação de Pearson e método UPGMA a partir da análise de perfil DGGE do gene 16S rRNA de amostras de diferentes sistemas de uso do solo.

Figure 3 - Dendrogram built by Pearson correlation coefficient and UPGMA method from the DGGE profile analysis 16S rRNA samples of different land use systems.

primer utilizado, grupamentos selecionados ou por tempo ou por tratamento, mostrando que os grupos são de bastante homogeneidade, o que demanda estudos mais aprofundados em experimentos adicionais.

CONCLUSÕES

Os tipos de uso do solo proporcionaram melhoria da fertilidade do solo e da matéria orgânica, sendo essas alterações mais evidentes nas camadas de 0,0–0,05 e 0,05–0,10 m, com destaque para o consórcio de MMF (mandioca + milho e feijão-caupi);

Os sistemas de manejos dos tratamentos CA e MMF mostraram-se eficientes no aporte de MOS, podendo ser

recomendados para a melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos desses solos de savana de Roraima;

Os tratamentos MMF, CA e FS proporcionaram aumento do C-BMS, com maior evidência nas primeiras camadas (0,0-0,05 e 0,05-0,10 m);

Não foi possível verificar variações em termos de diversidade biológica dos solos entre os tratamentos em função desses gerarem grupos de bastante homogeneidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 933-942, 1999.

BALZARINI, M.; DI RIENZO, J. A. InfogGen. Software estatístico para as análises de dados genéticos. Versão 2012. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

BENEDETTI, U. G. VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 299-312, 2011.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V.R.; BASSO, C.J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

CUNHA, E.Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes. 2. Ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Viçosa, UFV, 2009. 394 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.5. Lavras-MG: UFLA, 2011.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JUNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, p. 250-257, 2006.

FLIEBBACH, A.; OBERHOLZER, H-R.; GUNST, L. & MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 118, p. 273-284, 2007.

LI, P.; ZHANG, T.; WANG, X.; YU, D. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 112-118, 2013.

- LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOEDD, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 194–200, 2013.
- MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, p. 603-609, 2013.
- MELO, V.F.; C. E. G. R. SCHAEFER, FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C., LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R.P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1039-1050, 2006.
- MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; UCHÔA, S. C. P. Indian land use in the Raposa–Serra do Sol Reserve, Roraima, Amazonia, Brazil: Physical and chemical attributes of a soil developed from mafic rocks under shifting cultivation, **Catena**, v. 80, p. 95-105, 2010.
- MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F.B. dos. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, p. 183–195, 2012.
- NOVAIS, R. F.; KAMPRATH, E. J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do “fator capacidade”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 41-46, 2007.
- PEIXOTO NETO, P.A.S.; AZEVEDO, J.L.; ARAÚJO, W.L. Microrganismos endofíticos. **Biociência**, v. 29, p. 62-77, 2002.
- RAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Soil and Water Conservation Society**. v. 70, p. 55-62, 2015.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 275-374, 2007.
- SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, <http://www.agro.unitau.br/dspace>. p.1-13, 2011.VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.
- VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. O solo como um sistema. Curitiba. Ed. 104p. 2011.