

DINÂMICA DO CULTIVO DE MOGNO AFRICANO EM SISTEMAS INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Arystides Resende Silva¹; Agust Sales²; Carlos Alberto Costa Veloso¹; Eduardo Jorge Maklouf Carvalho¹ e Bárbara Maia Miranda³

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n, Bairro Marco, Caixa Postal, 48, CEP 66095-100, Belém, PA. E-mail: arystides.silva@embrapa.br; carlos.veloso@embrapa.br, eduardo.maklouf@embrapa.br. ²Universidade Federal de Viçosa – UFV, Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Purdue, s/nº, Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa, MG. E-mail: agustsales@hotmail.com. ³Universidade do Estado do Pará-UEPA, Trav. Dr. Enéas Pinheiro, nº 2626, Bairro Marco, CEP 66095-100, Belém, PA. E-mail: mmiranda.barbara@hotmail.com.

RESUMO: A matéria orgânica possui implicações sobre o comportamento físico do solo, tendo larga influência no processo de recuperação e estabilização da estrutura do solo. Diante dessa interação, objetivou-se avaliar a dinâmica do cultivo de mogno africano em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) nos atributos físicos e teor de matéria orgânica comparado aos sistemas convencionais em um Latossolo Amarelo. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema de parcela subdividida com cinco parcelas (sistemas de manejo do solo) e quatro subparcelas (camadas do solo). Os sistemas de manejo do solo foram: sistema iLPF, Santa Fé, Barreirão, Pastagem e Mata nativa como testemunha. As subparcelas foram compostas por quatro profundidades de amostragem: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm. Os teores de matéria orgânica tiveram correlação e influenciaram os atributos físicos do solo. O sistema iLPF com a espécie de mogno africano não apresentou danos na estrutura do solo aos quatro anos de cultivo, ressaltando sua importância na recuperação de áreas degradadas. Os sistemas estudados apresentaram valores dentro do nível considerado não restritivo ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo, Khaya ivorensis, material orgânico, sistemas integrados.

CULTIVATION DYNAMIC AFRICAN MAHOGANY IN INTEGRATION CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS ON THE PHYSICAL ATTRIBUTES AND ORGANIC MATTER CONTENT SOIL

ABSTRACT: Organic matter has implications on the physical behavior of soil, with wide influence in the recovery process and stabilization of soil structure. Faced with this interaction, this study aimed to evaluate the dynamics of African mahogany cultivation Crop-Livestock-Forest integration system (iLPF) the physical attributes and organic matter content compared to conventional systems in a Yellow Oxisol. Was completely randomized design with three replications, in a split plot scheme with five plots (soil management systems) and four subplots (soil layers). Soil management systems were iLPF system, Santa Fe, Barreirão, pasture and native forest as a witness. The subplots were composed of four sampling depths: 0-10, 10-20, 20-30 and 30-50 cm. The organic matter content were correlated and influenced the soil physical attributes. The iLPF system with the specie of African mahogany showed no damage to the soil structure to the four years of cultivation, emphasizing its importance in the recovery of degraded areas. The systems studied showed values within the level considered not restrictive to the growth and development of the root system of plants.

KEY-WORDS: soil compaction, Khaya ivorensis, organic material, integrated systems.

INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta em áreas agrícolas, em função dos inúmeros benefícios que podem ser obtidos, vêm se tornando mais expressivas no Brasil (Balbino et al., 2011). Apesar de sua progressiva aceitação, existem dúvidas e questionamentos sobre possíveis impactos negativos associados à degradação do ambiente, principalmente à degradação física do solo em função do uso e manejos adotados, como o tráfego de máquinas e implementos, além do pisoteio animal (Moraes et al., 2012), que são uns dos responsáveis diretos pela compactação ou adensamento alterando significativamente a qualidade da estrutura do solo, cuja intensidade de alteração varia também com as condições de clima e natureza do solo (Oliveira et al., 2013).

Dentre as atividades de manejo do solo, o seu preparo talvez seja a aplicação que mais influência no seu comportamento físico, visto que age diretamente na estrutura do solo, o qual indica as condições nas quais poderá ocorrer limitações ao crescimento radicular de determinada espécie vegetal interferindo na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas (Lima et al., 2013).

É possível evitar alguns problemas com o manejo racional do solo. Têm-se utilizado muitos atributos físicos para quantificar as modificações geradas pelas diferentes atividades de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos na superfície e teor de matéria orgânica do solo, ou até mesmo, como indicadores de qualidade do solo, dentre eles, a densidade do solo, a porosidade total e suas frações granulométricas (Wendling et al., 2012) e estão diretamente ligados à produtividade de culturas (Bottega et al., 2011). A qualidade física do solo está associada com a capacidade que o mesmo possui em possibilitar o desenvolvimento das plantas sem que ocorra a sua degradação (Llanillo et al., 2013).

A matéria orgânica possui implicações sobre o comportamento físico do solo, tendo larga influência no processo de recuperação e estabilização da estrutura do solo, pois tem o poder de flocular o solo, abrir espaços e evitar a compactação, reduzindo assim, os valores de densidade do solo (Silva et al., 2012). A correlação entre os teores de matéria orgânica e a dinâmica dos agregados dos solos está indicada em estudos.

O fornecimento sucessivo de material orgânico originário dos restos culturais e/ou excreções radiculares, cujos subprodutos são produzidos por moléculas orgânicas em diferentes fases de decomposição, atua como agente de constituição e estabilização dos agregados, permitindo melhor estruturação do solo (Fontana et al., 2010). Na matéria orgânica há substâncias húmicas, cuja qualidade está associada com a agregação benéfica do solo, sendo essenciais no processo de

formação e estabilização, em função da sua ação cimentante, que permite a formação de agregados estáveis (Portugal et al., 2010).

Diante da interação da matéria orgânica e os atributos físicos em diferentes sistemas de manejo no solo, presume-se que a avaliação dessas variáveis são, portanto, medidas importantes no processo de conhecimento de métodos mais adequados com o objetivo de tornar a agropecuária social e ambientalmente mais sustentável elevando a produtividade, atuando na mitigação de emissão de carbono para atmosfera e reduzindo a pressão sobre as áreas naturais.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a dinâmica do cultivo de mogno africano (*Khaya ivorensis*) em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta nos atributos físicos e teor de matéria orgânica comparado aos sistemas convencionais em um Latossolo Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas originalmente sob vegetação da Amazônia legal, na fazenda Vitória, município de Paragominas – PA, localizada na região nordeste do estado do Pará (altitude de 89 metros, 2° 57' 29,47" S de latitude e 47° 23' 10,37" W de longitude), o clima é classificado como Aw, segundo classificação de Koppen. A precipitação média anual é de 1743 mm. A temperatura média anual apresenta variação entre 23,3°C a 27,3°C e a umidade relativa do ar indica média anual de 81%.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo textura argilosa (EMBRAPA, 2013), sendo as características químicas e granulométricas analisadas antes da implantação do experimento nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997), exceto a matéria orgânica (MO) que foi determinada pelo método de Walkley e Black, proposto em Black (1965) (Tabela 1).

Tabela 1. Características¹ química e granulométricas da área experimental nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Fazenda Vitória, Paragominas-PA, 2009

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (dag kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca	Mg	K	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila
				_____ cmolc dm ⁻³ _____				_____ g kg ⁻¹ _____			
0-10	5,88	2,54	5,67	3,88	1,22	0,46	0,10	3,74	56	284	660
10-20	6,27	1,82	9,17	4,80	1,13	0,24	0,10	2,34	43	232	725

¹Análises realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. MO = Matéria Orgânica; P = Fósforo; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; K = Potássio; Al = Alumínio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio.

O experimento foi composto por um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) instalado no ano de 2009 (4,05 ha), manejado com cultivo de culturas anuais em consórcio com forrageiras e intercaladas com a espécie de mogno africano (*Khaya ivorensis*), sistema Santa Fé (5 ha), sistema Barreirão (3 ha), uma área de Pastagem e uma de Mata circunvizinha à área experimental.

Para o arranjo espacial das árvores no sistema iLPF, empregou-se o plantio em renques, cada um com duas linhas, no espaçamento 5 x 5 m, a distância entre renques foi de 20 m para o cultivo das culturas anuais e forragem, o que totalizou 28% de área ocupada pelas faixas dos renques e densidade de 160 árvores ha⁻¹.

Antes da implantação do experimento (2009), a área utilizada vinha sendo mantida sob pastagem cultivada, com a exploração de gado de corte em sistema extensivo. Em janeiro de 2009, em função da instalação do experimento, realizou-se operações de preparo do solo, correção e adubação, em fevereiro do mesmo ano plantou-se o milho BRS 1030, no espaçamento 0,6 m, na mesma data foi realizado o plantio da espécie florestal com o seu espaçamento mencionado anteriormente, na segunda adubação de cobertura do milho foi semeada a *Brachiaria ruziziensis* (20 kg ha⁻¹).

A segunda cultura a entrar no sistema foi a soja (cultivar Sambaíba) no ano de 2010, a terceira e quarta cultura foram o milho (BRS 1055) (2011 e 2012, respectivamente), em consórcio com plantio de milho em 2012 foi semeado o capim Piatã, o qual se encontra no sistema até os dias atuais, todos os cultivos foram conduzidos seguindo as recomendações técnicas para as culturas.

Para fins deste trabalho foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema de parcela subdividida com cinco parcelas (sistemas de manejo do solo) e quatro subparcelas (camadas do solo). As parcelas foram compostas por cinco sistemas de manejo do solo: sistema iLPF, Santa Fé, Barreirão, Pastagem e Mata nativa como testemunha. As subparcelas foram compostas por quatro profundidades de amostragem: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm.

Durante a condução do experimento realizou-se análises químicas do solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, utilizando a metodologia descrita por EMBRAPA (1997) (Tabela 2).

Tabela 2. Características¹ químicas médias do solo dos tratamentos, Fazenda Vitória, Paragominas-PA, 2013

Tratamentos*	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	Ca	Ca + Mg	K	Al	H+Al
						cmol _c dm ⁻³			
iLPF	0-10	5,8	22,13	6,65	4,11	5,22	264,43	0,10	3,09
	10-20	6,2	23,17	9,84	5,11	6,45	213,45	0,10	2,98
	20-30	6,5	13,26	12,28	5,32	6,29	187,66	0,10	3,53
	30-50	6,5	9,91	6,78	3,45	4,42	123,48	0,10	3,60
Santa fê	0-10	5,7	24,94	5,76	3,82	5,13	245,58	0,10	3,67
	10-20	6,1	18,92	9,32	4,74	6,29	135,29	0,10	2,25
	20-30	6,7	10,23	12,21	5,17	5,99	188,35	0,10	3,34
	30-50	6,4	10,22	6,16	3,60	4,45	112,78	0,10	3,78
Barreirão	0-10	6,2	25,43	4,77	3,23	5,27	157,00	0,10	2,25
	10-20	4,9	12,92	2,66	1,40	1,56	39,33	0,50	4,10
	20-30	4,9	12,59	3,00	1,37	1,45	36,67	0,50	3,84
	30-50	4,8	12,71	3,00	1,30	1,91	46,00	0,30	3,32
Pastagem	0-10	6,4	20,81	11,21	5,13	6,18	141,67	0,20	2,46
	10-20	5,2	19,54	4,34	2,27	2,87	41,67	0,33	4,27
	20-30	5,2	14,23	2,00	1,50	2,16	35,00	0,26	3,84
	30-50	4,7	13,53	2,00	1,30	1,73	24,00	0,43	4,03
Mata	0-10	4,7	40,79	3,00	3,23	4,28	57,67	0,30	9,59
	10-20	4,9	20,79	2,00	1,93	2,56	53,33	0,60	5,12
	20-30	4,8	18,35	3,00	1,50	1,88	32,33	0,60	4,92
	30-50	4,9	17,28	3,00	1,47	1,98	33,67	0,60	4,67

¹Análises realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. MO = Matéria Orgânica; P = Fósforo; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; K = Potássio; Al = Alumínio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio.

Em abril de 2013, coletou-se amostras de solo, através de anéis volumétricos, com estrutura indeformadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm de acordo com o método descrito por Forsythe (1975), Blake e Hartge (1986) para análise dos atributos físicos do solo dos tratamentos em estudo. Foram coletadas amostras de solo deformadas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm para determinar o teor de matéria orgânica do solo.

A densidade do solo (Ds), microporos, macroporos, porosidade total e matéria orgânica do solo (MOS) foram determinados através da metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SISVAR[®] e quando significativo às médias foram comparadas pelo teste de Tukey p<0,05 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores de matéria orgânica (MOS) entre as profundidades dos tratamentos em estudo foram encontradas na camada 0-10 cm, os tratamentos iLPF, Santa Fé, Barreirão, Pastagem e Mata apresentaram redução no teor de MOS em profundidade (Tabela 3).

Tabela 3. Matéria orgânica¹ (MOS) do solo dos sistemas de produção nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Fazenda Vitória, Paragominas - PA

Sistemas	Prof.* (cm)	
	0-10	10-20
iLPF	3,37Ab	2,17Bb
Santa Fé	3,30Ab	2,40Bb
Barreirão	3,53Ab	2,67Bb
Pastagem	6,13Aa	2,60Bb
Mata	5,60Aa	3,10Ba

¹Análises realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si e médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Resultados que corroboram com Silva (2011b), ao avaliar sistemas agroflorestais submetidos a queima e não queima, relatou redução do acúmulo de matéria orgânica à medida que aumentava a profundidade. Neves (2013), em estudo onde foi avaliado diferentes sistemas de uso do solo, denota também maiores valores de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo, decrescendo com a profundidade. Silva et al. (2014), não constataram diferença entre os tratamentos estudados e sazonalidade, demonstrando diferença somente para a profundidade, ao avaliarem o teor da matéria orgânica do solo em diferentes Sistemas Agroflorestais.

Na Tabela 3, quando comparados os tratamentos entre cada camada, observa-se que, de 0-10 cm, a Mata e Pastagem apresentaram maiores valores de MOS do que os demais tratamentos. Na camada de 10-20 cm, a Mata indicou maior valor diferindo dos demais tratamentos. Neste sentido é importante ressaltar, que as técnicas de manejo aplicadas exercem grande influência no acúmulo de MOS, possibilitando reduzir, manter ou elevar esses estoques em relação à Mata nativa (Khorramdel et al., 2013).

A implantação de sistemas integrados na região Amazônia Brasileira tem ganhado destaque como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do manejo de Latossolos (Silveira et al., 2010). A manutenção da matéria orgânica é necessária para a sustentabilidade da agropecuária, pois os aumentos nos seus níveis levam, geralmente, a uma maior produção vegetal, ampliando a eficiência na utilização dos nutrientes (Malhia et al., 2011; Paul et al., 2013), além de

influir nos atributos físicos, auxiliando na recuperação e estabilização da estrutura do solo (Silva et al., 2012).

Genu et al. (2013), ao avaliarem o comportamento espectral de atributos do solo, associaram elevados teores de matéria orgânica, em comparação com mata nativa, aos maiores teores de argila nos solos. Concordando com os resultados de Freitas et al. (2014), no estudo em que avaliou-se atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa, em que houve correlação positiva entre a matéria orgânica e os teores de argila, indicando maiores teores de matéria orgânica em solos com altos teores argila.

A densidade do solo (Ds) apresentou diferença entre as profundidades somente nos tratamentos Mata e Barreirão, sendo demonstrado um aumento de Ds em profundidade (Tabela 4). Esses resultados corroboram com Rossetti e Centurion (2015), ao quantificarem estoques de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em uma cronosequência sob diferentes manejos, relataram aumento de Ds na medida em que aumentava a profundidade.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (MAC) e Microporosidade (MIC) dos sistemas de produção, Fazenda Vitória, Paragominas - PA

Variável ¹	Prof. (cm)	Sistemas*				
		iLPF	Barreirão	Santa Fé	Pastagem	Mata
Ds (kg dm ⁻³)	0-10	1,38Da	1,09Ba	1,29Da	1,16Ca	0,89Aa
	10-20	1,34Ba	1,40Bb	1,25Aa	1,20Aa	1,15Ab
	20-30	1,33Ca	1,42Cb	1,08Aa	1,21Ba	1,18Bb
	30-50	1,41Da	1,44Db	1,21Ba	1,19Ba	1,13Ab
Pt (m ³ m ⁻³)	0-10	0,31Ca	0,51Aa	0,42Ba	0,46Ba	0,57Aa
	10-20	0,36Ba	0,33Bb	0,46Aa	0,47Aa	0,50Ab
	20-30	0,39Ba	0,37Bb	0,49Aa	0,48Aa	0,49Ab
	30-50	0,37Ba	0,32Bb	0,48Aa	0,49Aa	0,51Ab
MAC (m ³ m ⁻³)	0-10	0,11Ba	0,18Aa	0,11Ba	0,07Ba	0,13Ba
	10-20	0,14Aa	0,15Aa	0,14Aa	0,10Aa	0,11Aa
	20-30	0,15Aa	0,18Aa	0,16Aa	0,07Ba	0,11Ba
	30-50	0,12Aa	0,17Aa	0,16Aa	0,06Aa	0,13Aa
MIC (m ³ m ⁻³)	0-10	0,20Ca	0,32Ba	0,31Ba	0,39Aa	0,44Aa
	10-20	0,21Ca	0,18Cb	0,32Ba	0,36Aa	0,38Ab
	20-30	0,24Ca	0,19Cb	0,33Ba	0,41Aa	0,37Ab
	30-50	0,25Ca	0,15Cb	0,32Ba	0,42Aa	0,38Bb

¹Análises realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si e médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Menores valores de Ds pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica nas camadas do solo, por possibilitar a redução da Ds e melhorar a estruturação do solo, visto que a

matéria orgânica proporciona a cimentação e a estabilização das partículas do solo (Silva et al., 2013), amenizando o impacto negativo do pisoteio animal e tráfego intensivo de máquinas e implementos agrícolas, que são fatores que aumentam a degradação da estrutura do solo em profundidade e deixam o solo vulnerável à compactação ou adensamento (Freitas et al., 2011; Morais et al., 2012).

Na comparação dos tratamentos entre cada profundidade, a Ds na profundidade superficial (0-10 cm) apresentou uma grande variabilidade, sendo a menor Ds encontrada na Mata e a maior no sistema iLPF. Essa variação significativa dos diferentes sistemas pode ser observada nas diferentes profundidades em estudo, mantendo a Mata com a menor Ds, a qual não diferiu na profundidade de 10-20 cm no sistema Santa fé e Pastagem, na profundidade de 20-30 cm essa não significância foi somente para a Pastagem, tendo menor Ds no sistema Santa Fé, já na profundidade de 30-50 cm a Mata manteve a menor Ds em relação aos outros sistemas em estudo (Tabela 4).

No estudo em que Silva et al. (2013) avaliaram as propriedades físicas do solo sob uso de diferentes culturas e sistemas de manejo, verificaram que a Ds foi maior nas áreas cultivadas quando comparadas com a área de mata nativa, indicando que o aumento da Ds na área cultivada pode estar relacionado à redução nos teores de matéria orgânica em comparação com o solo sob mata nativa.

Considerando apenas os valores de Ds, tais resultados indicam que o sistema iLPF utilizando o mogno africano e os demais em estudo não afetaram este atributo a ponto de torná-lo superior à faixa crítica de 1,40 a 1,80 kg m⁻³ proposta por Reinert et al. (2008). De acordo com Silva et al. (2011), ao avaliarem os atributos físicos do solo, em função do cultivo de diferentes espécies vegetais, relatam que pode haver restrições ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas quando for identificado Ds superior a 1,30 kg m⁻³, confirmado por Spera et al. (2009), que configuram os valores de Ds como forma de caracterizar o comportamento do crescimento radicular das plantas, assim como representar o nível de compactação do solo, em estudo onde foi avaliado o efeito de sistemas de produção sob sistema plantio direto, após dez anos, sobre as características físicas do solo. O sistema iLPF (camada 30-50 cm) e Barreirão apresentaram valores de Ds superiores ao nível crítico mínimo, que podem ser atribuídos à camada compactada residual resultante de preparo de solos anteriores com aração e gradagem (Oliveira et al., 2013).

Apenas a Mata e o sistema Barreirão apresentaram diferença significativa de porosidade total (Pt) entre as profundidades, os quais demonstraram os maiores valores de Pt na camada

superficial de 0-10 cm (Tabela 4), o que reflete menor Ds e pode ser associada ao acúmulo de material orgânico na profundidade superficial, considerando o manejo do solo sem o revolvimento, no caso da Mata, e no sistema Barreirão em razão da aração ser realizada em maior profundidade do que os outros sistemas, rompendo camadas compactadas ou adensadas, auxiliando na redução da Ds (Hickmann et al., 2012).

Menores valores de Pt nas camadas sub superficiais reflete maior Ds e é provavelmente explicado por alterações na estrutura advindas do pisoteio animal ou trânsito de máquinas e implementos agrícolas (Oliveira et al., 2013), sendo profundidades que não sofrem revolvimento, corroborando com os resultados de Miranda et al. (2003), que observou o efeito da compactação causado pelo tráfego de um trator agrícola na profundidade 10 a 20 cm e com os obtidos por Silva et al. (2007) segundo o qual a camada compactada localizou-se na profundidade de 5 a 25cm em um Latossolo Amarelo.

De acordo com Pezarico et al. (2013), solos que apresentam maior Ds indicam redução da Pt, diminuição da permeabilidade e da infiltração de hídrica, rompimento dos agregados e ampliação da resistência mecânica à penetração, comprometendo a qualidade física do solo.

Quando comparados os sistemas entre as profundidades, apresentaram diferença entre si em todas as profundidades estudadas (Tabela 4). Silva e Martins (2010), em estudo onde avaliaram sistema radicular e atributos físicos do solo do cafeeiro sob diferentes espaçamentos, indicaram que o aumento da quantidade de raízes proporciona maiores valores de Pt.

Ressalta-se a importância dos resíduos vegetais na estrutura do solo em virtude da maior formação e estabilidade de agregados em razão à intensa atividade biológica favorecendo a infiltração e aeração para desenvolvimento das plantas (Jordan et al., 2010; Cunha et al., 2011).

Em relação à macroporosidade (MAC), quando comparados os tratamentos em cada profundidade somente apresentaram diferenças significativa nas profundidades de 0-10 e 20-30 cm, nas camadas 10-20 e 30-50 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos (Quadro 4), resultados que concordam com os obtidos por Mota et al. (2012), onde não observaram diferença de MAC na camada 10-20 cm, indicando maior influência dos diferentes sistemas de produção, apenas na camada mais superficial (0-10 cm), no estudo que foi avaliado a qualidade do solo, comparando área de pastagem, culturais anuais e vegetação nativa, com área de reflorestamento cultivada com eucalipto de várias idades.

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa de macroporosidade (MAC) entre as profundidades (Tabela 4). Kato et al. (2010), no estudo em que avaliaram as propriedades físicas

de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais, indicaram que com aumento da Ds ocorre diminuição de macroporos e o acréscimo da matéria orgânica, cuja auxilia na melhor estruturação, aumenta Pt do solo, caso encontrado neste trabalho. Segundo Vezzani e Mielniczuk (2011), maiores valores de MAC nas profundidades superficiais refletem influência da matéria orgânica na estruturação do solo, e isto pode explicar por que a densidade de solo foi menor na camada superficial do que nas mais profundas, enquanto, para Pt e MAC, ocorreu o inverso (Tabela 4).

Os números de MAC variaram de 0,06 a 0,18 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 4). Segundo Taylor e Ashcroft (1972), para possibilitar as trocas gasosas e o crescimento das raízes, são necessários valores de MAC superiores a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Nota-se nos dados do presente estudo, que a maioria dos valores de MAC são superiores a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, exceto para a Pastagem nas profundidades de 20-30 e 30-50 cm que foram de 0,06 e 0,07 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente, entretanto esses valores não apresentaram diferença significativa das outras profundidades, as quais apresentaram valores superiores os níveis críticos (Tabela 4). Portanto, para esse atributo tais valores sugerem que os tratamentos independentemente dos diferentes cultivos expressam condições satisfatórias ao desenvolvimento da maioria das plantas.

Com relação à microporosidade (MIC), ao comparar os tratamentos em cada profundidade houve diferenças significativas em relação as quatro profundidades em estudo, sendo os maiores valores de MIC apresentados na Mata e Pastagem, os quais não diferiram entre si (Tabela 4). Na profundidade 0-10 cm a variação da MIC foi de 0,20 a 0,44 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto na camada de 10-20 cm essa variação foi de 0,18 a 0,38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, na profundidade de 20-30 cm foi de 0,19 a 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, na camada de 30-50 cm essa variação foi de 0,15 a 0,42 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 4). Os resultados de MIC corroboram-se aos encontrados por Santos et al. (2011), onde encontraram maiores valores de MIC quando comparado com MAC, em área de cerrado nativo e em área sob sistema integração lavoura pecuária.

Os tratamentos iLPF, Santa Fé e Pastagem não apresentaram diferenças significativa entre as profundidades em estudo, enquanto os outros tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, tendo a Mata e o sistema Barreirão uma maior MIC na profundidade de 0-10 cm (Tabela 4). Spera et al. (2010), notaram melhoria da MIC ao passar dos anos, e não diferindo estatisticamente de solos sob vegetação nativa, em apreciação contínua de sistemas de integração Lavoura-Pecuária.

Segundo Silva (2011a), macroporos predominam em solos arenosos, enquanto em solos argilosos a tendência é predominar microporos, em razão de solos argilosos possuírem

microagregados pela partícula de argila, o que lhe conferem uma maior MIC, como observado neste estudo.

Ressalta-se o efeito benéfico da utilização de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na recuperação de áreas degradadas, pois demonstraram resultados positivos nos atributos físicos do solo, assim como no teor de matéria orgânica, que propiciam condições mais favoráveis para o estímulo da atividade dos microrganismos e eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas corroborando com o estudo de Brandão (2013), ao caracterizar um Latossolo em sistemas agroflorestais e mata.

CONCLUSÕES

Os teores de matéria orgânica tiveram correlação e influenciaram os atributos físicos do solo.

A densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo de todos os sistemas estudados apresentaram valores dentro do nível considerado não restritivo ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta com a espécie de mogno africano não apresentou danos na estrutura do solo aos quatro anos de cultivo, ressaltando sua importância na recuperação de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G.B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.46, n.10, p.i-xii, out. 2011.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.

BLACK, C.A. Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties. Madison: **American Society of Agronomy**, 1159 p. 1965.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1986.

BRANDÃO, F.J.C. **Caracterização de um Latossolo em sistemas agroflorestais e mata com o uso de análise estatística multivariada**. Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2013.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.589-602, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200028>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), Manual de métodos de análises do solo. **Centro Nacional de pesquisa em solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2º ed. 212 p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 353p. 2013.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez., 2011.

FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.291-297, 2010. doi: 10.5239/agrariav5i3a461.

FORSYTHE, W. Física de Suelos; manual de laboratório. **New Cork: University Press**, 324p. 1975.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; DESUÓ, I.C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, Rio Claro, v.11, n.2, p.137-147, 2011.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, V.M.R.; OLIVEIRA, I.A.; MORETI, T.C.F. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p.523-534. 2014.

GENU, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M.; NANNI, M.R. Caracterização e comparação do comportamento espectral de atributos do solo obtidos por sensores orbitais (ASTER e TM) e terrestres (IRIS). **Ambiência**, v.9, n.2, p.279-288, 2013.

JORDAN, A.; ZAVALA, L.M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v.81, p.77-85, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007>.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, R.B.A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.25, n.1, p.128-136, 2012.

KATO, E.; RAMOS, M.L.G.; VIEIRA, D.F.A.; MEIRA, A.D.; MOURÃO, V.C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.26, n.5, p.732-738, 2010.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHEKI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, v.133, p.25-31, 2013.

LIMA, R.P.; LEÓN, M.J.D.; SILVA, A.R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, v.60, n.04, p.577-581, jul./ago. 2013.

- LLANILLO, R.F.; GUIMARÃES, M.F.; FILHO, J.T. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.524–530, 2013.
- MALHIA, S.S.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; DYCK, M.F.; PUURVEEN, D. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types. **Field Crops Research**, v.124, p.378-391, 2011.
- MORAIS, T.P.S.; PISSARRA, T.C.T.; REIS, F.C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.15, p.214-223, 2012.
- MOTA, F.O.B.; NESS, R.L.L.; MOTA, J.C.A.; CLEMENTE, C.A.; SOUSA, S.C. Physical quality of na oxisol under different uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.36, p.1828-1835. 2012.
- MIRANDA, E.É.V.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; PINTO, J.A.O.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; LASMAR JUNIOR, E. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. E. Esp, p.1506-1515, 2003.
- NEVES, Y.Y.B. **Características de diferentes sistemas de uso do solo em Cruzeiro do Sul, Acre**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras: UFLA, 103p. 2013.
- OLIVEIRA, P.R.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C; ROSSETI, K.V. FERRAUDO, A.S.; FRANCO, H.B.J; PEREIRA, F.S; BÁRBARO JÚNIOR, L.S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.604-612, maio/jun. 2013.
- PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T.T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M.M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.164, p.14-22, 2013.
- PORTUGAL, A.F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C.E.R.G.; NEVES, J.C.L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v.57, p.545-553, 2010.
- PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.56, n.1, p.40-47, 2013.
- REINERT, D.J.; ALBURQUERQUE, J.A.; REICHERT, M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.464, n.32, p.1805-1816. 2008.
- ROSSETTI, K.V.; CENTURION J.F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.252–258, 2015.
- SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; SILVA, E.M.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1339-1348. 2011.

SILVA, C.A. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada.** 75f. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Aquidauana, MS: 2011a.

SILVA, D.A.; SOUZA, L.C.F.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.70, n.1. 2011.

SILVA, P.C.; COSTA, R.A.; BARBOSA, K.F.; MARTINS, Y.A.M.; PEREIRA, C.B.J. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob diferentes culturas e sistemas de manejo no sudoeste goiano. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17; p.2201. 2013.

SILVA, S.A.S. **Avaliação dos atributos químicos e microbianos em latossolo amarelo sob sistema agroflorestal e floresta secundária em Bragança, Pará.** Tese (Doutorado). 2011. 97p. Universidade federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém – PA, 2011b.

SILVA, S.A.S.; MORAES, A.C.S.; GONÇALVES, D.B.; LEÃO, F. M. Avaliação da matéria orgânica e pH do solo em sistemas agroflorestais localizados na região de Altamira-Pa. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.1, n.02; p.15, 2014.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S.; LEITE, P.L. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um “Forwarder” nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.2, p.371-377. 2007.

SILVA, V.L.B.; MARTINS, P.F.S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista ciências Agrárias**, v.53, n.1, p.96-101, jan/jun. 2010.

SILVA, V.L.; DIECKOW, J.; MELLEK, J.E.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. Melhoria da estrutura de um latossolo por sistemas de culturas em plantio direto nos Campos Gerais do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.3, p.983-992, 2012.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R.; STONE, L.F.; SANTOS, G.G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.3, p.283-290, jul./set. 2010.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOM, G.O. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.3, p.695-704. 2010.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.129-136. 2009.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils. **San Francisco**: W.H. Freeman, 532p. 1972.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000100020.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.256-265, 2012.