

Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil

Arystides Resende Silva¹, Agust Sales², Carlos Alberto Costa Veloso¹

¹*Pesquisador Doutor da Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório de Solos, Belém, PA, Brasil. E-mail: arystides.silva@embrapa.br; carlos.veloso@embrapa.br*

²*Graduando em Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Pará, Paragominas, PA, Brasil. E-mail: agustsales@hotmail.com*

Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito de renques de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) e diferentes sistemas de manejo nas propriedades físicas e carbono orgânico de um Latossolo Amarelo. Os tratamentos avaliados foram: sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) aos dois anos de cultivo, sendo amostrado em duas distâncias a 2,5 m do renque florestal (iLPF2,5) e a 10 m (iLPF10), Monocultivo florestal com Eucalipto (ME) com 2 anos de cultivo, sistema Santa Fé (SSF) e Mata Nativa como testemunha (MN) em quatro profundidades de solo. Os atributos avaliados foram carbono orgânico, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Os maiores teores de carbono orgânico foram encontrados nas camadas superficiais do solo, com redução em profundidade. Os tratamentos iLPF2,5, iLPF10 e SSF apresentaram melhores condições físicas de densidade e porosidade do solo do que o ME quando comparados à MN. Houve diferença de macro e microporosidade nas profundidades dos tratamentos, o iLPF2,5, SSF e MN apresentaram os maiores valores. Os renques de eucalipto no sistema iLPF e o Santa Fé melhoraram as condições de densidade e porosidade do solo, assim como o acúmulo de carbono orgânico. O Monocultivo florestal apresentou o menor acúmulo de carbono orgânico no solo e provocou impacto negativo à densidade do solo na camada 10-20 e 20-30 cm, entretanto, não apresentou perda de porosidade do solo.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla; Monocultivo florestal; Porosidade do solo; Sistema Santa Fé; Sistema iLPF.*

Abstract

Physical attributes and availability of soil carbon in Crop-Livestock-Forest integration systems (iLPF) Homogeneous and Santa Fe, in the state of Pará, Brazil.

The objective was to evaluate the rows effect of Eucalyptus and different soil management systems in physical properties and organic carbon of a Typic. The treatments evaluated were integration system Crop-Livestock-Forest (iLPF) at two years of cultivation, being sampled at two distances 2.5 m forest row (iLPF2,5) and 10 m (iLPF10), Forest Monocropping with Eucalyptus (ME) with 2 years of cultivation, Santa Fe system (SSF) and Mata as witness (MN). The attributes of the soil evaluated were organic carbon, soil density, total porosity, macroporosity and microporosity. The content higher soil organic carbon were found in the layer superficial of soil, with reduction in depth. The treatments iLPF2,5, iLPF10 and SSF showed better physical condition of soil density and porosity than the ME compared to MN. There was a difference of macro and microporosity in the depths of the treatments, the iLPF2,5, SSF and MN presented the highest values. The eucalyptus rows in iLPF Santa Fe system and improved conditions of density and porosity of the soil as well as organic carbon accumulation. The forestry monoculture had the lowest accumulation of organic carbon in the soil and caused negative impact to soil density in the layer 10-20 and 20-30 cm, however, did not show soil porosity loss.

Keywords: *Eucalyptus urophylla; Forestry monoculture; Soil porosity; Santa Fé systems; iLPF systems.*

Introdução

Os recursos naturais da Amazônia sofrem grandes impactos negativos devido ao aumento de áreas degradadas associadas ao

desmatamento das florestas, influenciando na disponibilidade e na qualidade de bens e serviços ambientais, e no bem estar da

sociedade. Uma das principais responsáveis pelo desmatamento é a atividade agropecuária, entretanto, essa atividade está em plena expansão e tem grande importância na economia da região (Domingues & Bermann, 2012), sendo necessário assim, buscar alternativas para tornar a agropecuária social e ambientalmente mais sustentável.

Dentre as alternativas, os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) entram como importante opção visto que possibilitam a recuperação de áreas degradadas por meio da intensificação do uso da terra, potencializando os efeitos sinérgicos existente entre as diversas espécies vegetais e a criação de animais, possibilitando de modo sustentável uma maior produção por área (Balbino et al., 2011). Contudo, falta ainda uma visão mais abrangente dos efeitos que este tipo de sistema pode trazer para o ecossistema amazônico.

A preocupação com a qualidade do solo tem aumentado nos últimos anos, em razão que seu uso pode restringir a capacidade em manter sua produção. Têm se utilizado muitos atributos físicos para quantificar as mudanças provocadas pelos diferentes manejos, tipo de cobertura vegetal, resíduos na superfície e teor de matéria orgânica do solo (Wendling et al., 2012), dentre eles citam-se, a densidade e a porosidade total do solo, variáveis que possuem associação direta com a produtividade das culturas de modo a obter uma produção sustentável (Bottega et al., 2011).

O período de preparo do solo, dentre as atividades de manejo na área agrícola, destaca-se por mais modificar o seu comportamento físico, visto que atua diretamente na estrutura do solo, em função do tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que são uns dos responsáveis diretos pela compactação alterando 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), os quais designam as condições nas quais poderá ocorrer restrições ao crescimento radicular de determinada espécie vegetal intervindo na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas (Silva et al., 2012).

A qualidade estrutural do solo possui associação direta com o carbono orgânico, pois o mesmo é um condicionante do solo por atuar em mecanismos que possibilitam as medidas

necessárias para a conservação da sua capacidade produtiva e sustentabilidade, como a disponibilidade de água, atuando também como agente cimentante da estrutura, no tampão do pH, na complexação de elementos e capacidade de troca de cátions (Cogo et al., 2013).

As mudanças em seus estoques geradas pelas práticas de manejo do solo são observadas geralmente a curto prazo, onde são influenciadas pela composição química, pela contribuição de resíduos ao solo e por características de clima e solo, que quando relacionadas ao cultivo podem levar à perda acelerada dos estoques de carbono de origem orgânica (Loss et al., 2011).

Na região Amazônica, a utilização de sistemas integrados é uma alternativa promissora para aumentar, em médio e longo prazo, os estoques de COS e melhorar sua qualidade estrutural. Diante dessas considerações, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de renques de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) e diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos e teor de carbono orgânico de 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, situada 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, de acordo com a classificação de Köppen e com uma precipitação média anual é de 1743 mm. A temperatura média anual varia entre 23,3°C a 27,3°C e a umidade relativa do ar indica média anual de 81%.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo textura argilosa (EMBRAPA, 2013). As características químicas e granulométricas foram determinadas antes da implantação do experimento utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997) (Tabela 1).

O experimento foi constituído por um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) implantado no ano de 2009 (4,05 ha), manejado com cultivo de culturas anuais em consórcio com forrageiras e intercaladas com a espécie de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*). Avaliou-se também o plantio de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) em

monocultivo ocupando uma área de 2,70 ha, um sistema Santa Fé (5 ha) manejado com cultivo integrado de culturas anuais e

forrageiras do gênero *brachiaria* e como testemunha uma Mata nativa circunvizinha à área experimental (15 ha).

Tabela 1. Características¹ química e granulométricas da área experimental antes da implantação do experimento, Fazenda Vitória, Paragominas-PA, 2009.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. g.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila	
					cmol _c .dm ⁻³							
								g.kg ⁻¹				
0-10	5,88	25,4	5,67	3,88	1,22	0,46	0,10	3,74	56	284	660	
10-20	6,27	18,2	9,17	4,80	1,13	0,24	0,10	2,34	43	232	725	
20-30	5,30	14,0	1,70	1,50	0,50	0,09	0,30	3,10	39	191	770	
30-50	5,30	23,0	1,50	1,40	0,50	0,08	0,30	2,80	35	175	790	

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.

Antes da instalação 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 implantação do experimento, foram realizadas operações de preparo do solo, correção e adubação.

Em fevereiro do mesmo ano plantou-se o milho BRS 1030 em consórcio com a *Brachiaria ruziziensis* (20 kg.ha⁻¹) nos sistemas iLPF e Santa Fé, a segunda cultura a entrar nos sistemas foi a soja (cultivar Sambaíba) no ano de 2010, e no ano de 2011 a terceira cultura foi a do milho BRS 1055.

Ainda em fevereiro de 2009, foi realizado o plantio do eucalipto no sistema iLPF e no Monocultivo. Para o arranjo espacial das árvores empregou-se o plantio em renques, cada um com duas linhas, no espaçamento 3 x 3 m, a distância entre renques foi de 22 m para o cultivo das culturas anuais e forrageiras, o que totalizou 20% de área ocupada pelas faixas dos renques e densidade de 267 árvores.ha⁻¹. No Monocultivo, o plantio de eucalipto foi realizado em espaçamento 3 x 3 m obtendo densidade em torno de 1.112 árvores.ha⁻¹. Todos os cultivos foram conduzidos seguindo as recomendações técnicas para as culturas.

Tabela 2. Características¹ químicas médias do solo dos tratamentos (2011).

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				
iLPF2,5	0-10	5,2	27,72	7,76	2,33	4,13	251,53	0,20	6,27
	10-20	5,2	31,74	4,63	1,51	5,03	117,65	0,10	5,12
	20-30	4,8	21,61	2,38	0,97	2,47	71,45	0,50	4,29
	30-50	4,7	20,55	1,46	0,84	1,92	34,46	0,40	3,47
iLPF10	0-10	5,9	27,46	4,67	3,31	3,66	109,58	0,10	5,28
	10-20	5,6	20,88	2,35	1,02	3,40	64,39	0,30	7,26
	20-30	5,1	13,24	1,77	0,84	1,61	25,35	0,40	6,77
	30-50	4,7	8,61	1,23	0,91	1,43	23,88	0,60	4,62
ME	0-10	5,5	22,86	6,17	2,13	3,45	44,34	0,10	4,29
	10-20	4,6	13,94	4,34	0,74	0,85	27,23	1,20	5,28
	20-30	4,5	10,56	2,55	0,65	0,71	25,89	1,10	4,13
	30-50	4,5	4,50	4,23	0,57	0,87	26,57	0,09	3,08
SSF	0-10	6,3	20,91	11,23	5,03	6,13	141,67	0,20	2,42
	10-20	5,3	19,50	4,33	2,17	2,83	41,67	0,33	4,24
	20-30	5,3	14,10	1,00	1,60	2,13	35,00	0,27	3,85
	30-50	4,8	13,73	1,00	1,20	1,70	24,00	0,43	4,02
MN	0-10	4,7	40,69	2,00	3,13	4,27	57,67	0,30	10,56
	10-20	4,8	20,80	1,00	1,83	2,57	53,33	0,60	5,12

20-30	4,8	18,25	1,00	1,40	1,87	32,33	0,60	4,95
30-50	4,8	17,18	1,00	1,37	1,97	33,67	0,60	4,68

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.

*iLPF2,5 = iLPF a 2,5 m do renque; iLPF10 = iLPF a 10 m do renque; ME = Monocultivo florestal com Eucalipto; SSF = Santa Fé; MN = Mata.

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 sendo amostrado em duas distâncias a 2,5 m do renque florestal (iLPF2,5) e a 10 m (iLPF10), Monocultivo florestal com Eucalipto (ME), sistema Santa Fé (SSF) e Mata nativa como testemunha (MN). As subparcelas foram compostas por quatro profundidades de amostragem: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm.

Durante a condução do experimento foi realizada análises químicas do solo, utilizando a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997) (Tabela 2).

Em abril de 2011, foram coletadas amostras de solo, por meio 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 Blake e Hartge (1986), para análise da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade 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 carbono orgânico do solo.

A densidade do solo (Ds), porosidade total, macroporos, microporos e carbono orgânico do solo (COS) foram determinados por meio da metodologia descrita por 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 tratamentos apresentaram maiores teores de carbono orgânico do solo (COS) entre as profundidades na camada superficial (0-10 cm), ocorrendo redução de COS na medida que aumentou a profundidade. Os tratamentos iLPF10 (iLPF a 10 m do renque), ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) e MN (Mata) apresentaram comportamento semelhante em relação aos teores de COS: maiores valores na camada 0-10 cm, valores intermediários na camada 10-20 e 20-30 cm e os menores valores na camada 30-50 cm. No iLPF2,5 (iLPF a 2,5 m do renque) os menores valores foram encontrados a partir da camada de 20-30 cm e no SSF (Santa Fé) as profundidades não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3. Carbono orgânico do solo (COS) dos tratamentos.

Variável ¹	Prof. (cm)	Tratamentos ^{2*}				
		iLPF2,5	iLPF10	ME	SSF	MN
C (g.kg ⁻¹)	0-10	16,31Ba	15,95Ba	12,79Ba	12,13Ba	23,60Aa
	10-20	17,69Aa	11,75Bb	7,93Cb	11,32Ba	12,07Bb
	20-30	12,34Ab	7,26Cc	6,11Dc	8,18Ca	10,58Bbc
	30-50	12,75Ab	4,45Dd	2,61Ed	7,97Ca	9,96Bc

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

²Médias 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 ($p < 0,05$).

*iLPF2,5 = iLPF a 2,5 m do renque; iLPF10 = iLPF a 10 m do renque; ME = Monocultivo florestal com Eucalipto; SSF = Santa Fé; MN = Mata.

Resultados confirmados por Kato et al. (2010), ao avaliarem as

propriedades de um latossolo sob diferentes coberturas vegetais, indicaram maior acúmulo

de COS nas camadas superficiais sofrendo redução com a profundidade. Corroborando com os resultados obtidos por Rossi et al. (2012), no estudo com frações orgânicas de carbono de um Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano, observaram que os maiores teores de carbono foram encontrados na profundidade de 0-5 cm, sendo verificado redução dos teores de COS em profundidade.

Quando comparados os tratamentos, na camada 0-10 cm a MN (Mata) apresentou maior valor de COS (23,60 g.kg⁻¹) do que os demais. Na camada 10-20, 20-30 e 30-50 cm, o iLPF2,5 (iLPF a 2,5 m do renque) apresentou

os maiores valores de COS diferindo dos tratamentos, sendo os menores valores indicado pelo ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) (Tabela 3).

Matoso et al. (2012), em estudo sobre frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira, relataram diferenças para os usos do solo e entre as profundidades, sendo os maiores valores de COS obtidos na profundidade 0-10 cm no solo sob vegetação nativa, caso observado no presente trabalho.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), Porosidade total (PT), Macroporosidade (MAC) e Microporosidade (MIC) dos diferentes tratamentos.

Variável ¹	Prof. (cm)	Tratamentos ^{2*}					Média
		iLPF2,5	iLPF10	ME	SSF	MN	
Ds (kg.dm ⁻³)	0-10	1,25Ba	1,27Bb	1,18Aba	1,04Aa	1,04Aa	1,16
	10-20	1,24BCa	1,32CDc	1,37Db	1,21ABb	1,15Aa	1,26
	20-30	1,20Aa	1,35Bc	1,36Bb	1,21Ab	1,14Aa	1,25
	30-50	1,15Ba	1,05Aa	1,31Cab	1,26Cb	1,07ABa	1,17
Média		1,21	1,25	1,30	1,18	1,10	1,19
PT (m ³ .m ⁻³)	0-10	0,47Ca	0,47Cb	0,48BCa	0,55Aa	0,53ABab	0,50
	10-20	0,48Ba	0,43Cb	0,43Cb	0,51Aab	0,49ABa	0,47
	20-30	0,48ABa	0,43Bb	0,44ABab	0,48ABb	0,52Aab	0,47
	30-50	0,50Ba	0,56Aa	0,45Cab	0,47BCb	0,56Aa	0,50
Média		0,47	0,47	0,45	0,50	0,53	0,53
MAC (m ³ .m ⁻³)	0-10	0,12Ba	0,18ABb	0,22Aa	0,19ABa	0,18ABa	0,18
	10-20	0,13Aa	0,17Abc	0,14Ab	0,15Aa	0,14Aa	0,15
	20-30	0,15Aa	0,14Ac	0,13Ab	0,13Aa	0,13Aa	0,13
	30-50	0,18Ba	0,29Aa	0,13BCb	0,11Ca	0,11Ca	0,16
Média		0,14	0,19	0,15	0,15	0,14	0,14
MIC (m ³ .m ⁻³)	0-10	0,34Aa	0,28Ba	0,26Bb	0,36Aa	0,34Ab	0,32
	10-20	0,34Aa	0,27Ca	0,29Bab	0,36Aa	0,35Ab	0,32
	20-30	0,33ABa	0,29Ba	0,31ABa	0,35ABa	0,39Aab	0,33
	30-50	0,32Ca	0,27Da	0,32Ca	0,36Ba	0,44Aa	0,34
Média		0,33	0,27	0,29	0,36	0,38	0,38

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

²Médias 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).

*iLPF2,5 = iLPF a 2,5 m do renque; iLPF10 = iLPF a 10 m do renque; ME = Monocultivo florestal com Eucalipto; SSF = Santa Fé; MN = Mata.

A presença de forrageiras e o cultivo de eucalipto nos tratamentos em estudo, quando comparados à Mata, contribuíram para maior quantidade de COS em superfície, pois

boa parte de sua distribuição radicular está localizada na superfície do solo, elevando desse modo a quantidade de COS nas primeiras camadas do solo, resultados

observados por Nunes et al. (2011) em diferentes sistemas de manejo e de estoque de carbono em Latossolo sob cerrado. Contudo, os sistemas avaliados indicaram que podem contribuir para a manutenção ou aumento de COS, destacando-se a influência positiva dos renques florestais no sistema iLPF.

A densidade do solo (Ds) apresentou diferença entre as profundidades somente nos tratamentos iLPF10 (iLPF a 10 m do renque), ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) e SSF (Santa Fé), sendo demonstrado um aumento de Ds em profundidade, exceto na camada 30-50 cm no iLPF10 a qual apresentou o menor valor (Tabela 4). Resultados similares foram encontrados por Rossetti e Centurion (2015), no estudo em que quantificaram estoques de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em uma cronosequência sob diferentes manejos, relataram aumento de Ds em profundidade.

Na comparação de Ds dos tratamentos entre cada profundidade, o MN (Mata) diferiu do iLPF2,5 e iLPF10 nas camadas 0-10 e 20-30 cm, diferiu do SSF (Santa Fé) somente na camada 30-50 cm e diferiu nas camadas subsuperficiais do ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) (Tabela 4). Resultados que corroboram aos obtidos por Loss et al. (2014), onde verificaram, em algumas camadas do solo, menores valores de Ds nos sistemas integrados quando comparados com os monocultivos, ao avaliarem atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de uso, confirmando o benefício do uso de sistemas integrados.

Ao analisar apenas os valores de Ds, tais resultados indicam que o iLPF2,5 e SSF não danificaram este atributo a ponto de torná-lo superior ao nível crítico de 1,30 a 1,40 kg.m⁻³ (Reichert et al., 2003), pois segundo Silva et al. (2011), analisando propriedades físicas do solo em função do cultivo de diferentes espécies vegetais, quando for identificado Ds superior a 1,30 kg.m⁻³ poderá ocorrer limitações ao desenvolvimento radicular da maioria das plantas. Foi encontrado no iLPF10 e ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) valores de Ds acima do nível crítico mínimo (1,30 kg.m⁻³), que pode ser atribuído, além da ausência de planta de cobertura (no ME), à camada compacta resultante de preparo de solo anteriores com aração e gradagem (Oliveira et al., 2013).

Estes resultados de Ds são explicados pelo fato de ter sido introduzido nos sistemas iLPF (iLPF2,5 e iLPF10) e SSF a forragem *Brachiaria ruziziensis* como planta de cobertura, com formação de matéria orgânica o que melhora a estrutura do solo, pois auxilia na cimentação e a estabilização das partículas do solo (Silva et al., 2013), além de amenizar o impacto negativo do pisoteio animal e distribuir de modo uniforme o peso das máquinas e implementos agrícolas (Moraes et al., 2012), enquanto no Monocultivo florestal (ME) não houve essa planta de cobertura e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas para a realização de limpeza da área foi muito intenso, refletindo nas camadas do solo com o aumento da Ds.

A porosidade total do solo (PT), somente o iLPF2,5 não indicou diferença entre as profundidades, os maiores valores foram encontrados na camada 0-10 cm, exceto o iLPF10, onde apresentou maior PT na profundidade 30-50 cm. Em geral, dentre os tratamentos, o ME (Monocultivo florestal com Eucalipto) foi o tratamento que mais apresentou perda de porosidade quando comparados à MN (Mata) (Tabela 4).

A proximidade de valores de PT do tratamento iLPF2,5 e SSF com a MN (Mata) e a manutenção da porosidade do solo, ocorreu, provavelmente, por não ter ocorrido revolvimento contínuo do solo, assim como em função do sistema radicular das forrageiras e de invertebrados edáficos, que podem ter contribuído para melhoria da sua estrutura física (Santos et al., 2011). Resultados confirmados por Silva e Martins (2010), avaliando sistema radicular e atributos físicos do solo do cafeeiro sob diferentes espaçamentos, relataram que o aumento da quantidade de raízes proporciona maiores valores de PT.

Ressalta-se a fundamental importância dos resíduos vegetais na estruturação do solo em função da maior formação de matéria orgânica e estabilidade dos agregados do solo em virtude à intensa atividade biológica resultando em aeração e infiltração de água no sistema, possibilitando assim, o desenvolvimento radicular das culturas (Cunha et al., 2011).

A macroporosidade (MAC) apresentou distinção entre as profundidades apenas no iLPF10 e ME, tendo apresentado os maiores

valores nas camadas 30-50 e 0-10 cm, respectivamente (Tabela 4). Segundo Vezzani & Mielniczuk (2011), maiores teores de MAC nas camadas superficiais refletem influência positiva da matéria orgânica na estruturação de solos. O iLPF2,5 (iLPF a 2,5 m do renque) não apresentou diferença de MAC entre as camadas, podendo ser atribuído à proximidade ao renque de árvores, pois a espécie florestal possui raízes profundas que influenciam positivamente na MAC.

Em relação aos tratamentos em cada profundidade, apresentaram diferenças de MAC nas profundidades de 0-10 cm, sendo o menor valor apresentado pelo ME e 30-50 cm, sendo o maior valor encontrado no iLPF10 (iLPF a 10 m do renque), confirmando o efeito positivo do sistema iLPF na MAC do solo em profundidade.

Segundo Taylor & Ashcroft (1972), valores de MAC superiores a $0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ são necessários para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes, nota-se nos resultados do presente estudo, que nenhum sistema apresentou valor inferior à $0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, portanto tais valores sugerem que, para esse atributo, os manejos do solo em estudo expressam condições satisfatórias ao desenvolvimento radicular da maioria das plantas (Tabela 4).

Kato et al. (2010), avaliando propriedades físicas de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais, observaram que o aumento da Ds refletiu em redução de MAC e o acréscimo da matéria orgânica, cuja auxilia na melhor estruturação, aumento a PT do solo, caso encontrado neste trabalho.

Com relação à microporosidade (MIC), apresentaram diferença entre as profundidades em estudo os tratamentos ME e MN, sendo os maiores valores encontradas nas subprofundidades. Comparando os tratamentos em relação a cada profundidade, o iLPF2,5 (iLPF a 2,5 m do renque) e o SSF (Santa Fé) apresentaram os maiores volumes de MIC quando comparados à MN (Mata), diferindo apenas na camada 30-50 cm (Tabela 4).

Estes resultados de MIC corroboram com os de Santos et al. (2011), onde encontraram maiores valores de MIC quando comparados com MAC, em área de mata nativa e em áreas sob sistemas integrados.

A instalação 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 agropecuária, pois aumento nos seus níveis levam, geralmente, a maior produção vegetal, ampliando a eficiência na utilização dos nutrientes, além de influir nos atributos físicos, auxiliando na recuperação e estabilização da estrutura do solo (Silva et al., 2012).

É importante ressaltar o efeito benéfico da utilização de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na recuperação de áreas degradadas, pois indicaram resultados positivos nos atributos físicos do solo, assim como no teor de carbono orgânico, que proporciona condições mais favoráveis para o estímulo da atividade dos microrganismos e eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas.

Conclusão

Os renques de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) no sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta melhoraram os atributos físicos do solo, assim como o acúmulo de carbono orgânico, em profundidade.

O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta aos dois anos de cultivo e o sistema Santa Fé melhoraram as condições físicas de densidade e porosidade do solo, além dos teores de carbono orgânico do solo quando comparados à Mata nativa, sendo indicado seu cultivo na recuperação de áreas degradadas.

O Monocultivo florestal com eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) aos dois anos de cultivo apresentou o menor acúmulo de carbono orgânico no solo e provocou impacto negativo à densidade do solo na camada 10-20 e 20-30 cm, entretanto, não apresentou perda de porosidade do solo.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sr. Thales Barros proprietário da fazenda Vitória, o Projeto iLPF, Projeto PECUS e ao Banco da Amazônia e rede de fomento iLPF pelo financiamento da pesquisa.

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.1-12, 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 distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1986.
- COGO, F. D.; JUNIOR, C. F. A.; ZINN, Y. L.; JUNIOR, M. S. D.; ALCÂNTARA, E. N.; GUIMARÃES, P. T. G. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.3, p.1089-1098, maio/jun. 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>
- DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo v.15, n.2, p.1-22, mai-ago, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 353p. 2013.
- 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.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez., 2011.
- 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.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 565-579, 2011.
- LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em santa teresa, ES. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, Sept./Oct. 2014.
- MATOSO, S. C. G.; SILVA, A. N.; FIORELLI-PEREIRA, E. C.; COLLETA, Q. P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, 42: 231-240.
- 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.
- NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 35, p.1407-1419. 2011.
- 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.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.
- 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.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7: 233-241. 2012.
- 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, 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, 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.
- 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.