

Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo

Paulo R. Gazolla¹, Roni F. Guareschi² & Adriano Perin¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rodovia Sul Goiana, Km 1, Zona Rural, CEP 75901-970, Rio Verde-GO, Brasil. Caixa Postal 66. E-mail: paulorgazolla@hotmail.com; perinrj@yahoo.com.br

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Km 47 da antiga Rodovia Rio - São Paulo, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil. E-mail: guareschiecotarelli@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as modificações nos estoques de carbono, resíduos vegetais da superfície do solo (RVS) e em alguns atributos físicos do solo, tais como densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp) e volume total de poros (VTP) em diferentes sistemas de manejo, no cerrado goiano; para isto foram selecionados no sudoeste do estado de Goiás, quatro diferentes tipos de manejo, a saber: sistema plantio direto (SPD) com integração lavoura-pecuária (ILP), SPD sem ILP e áreas de Cerrado natural (CN) e pastagem (PA); em cada uma das áreas foram coletadas amostras nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm; o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado; o tratamento com CN apresentou, em todas as profundidades analisadas (0 a 20 cm) menores valores de Ds, e o maior VTP, do que as demais tratamentos avaliados. Dentre os sistemas manejados a área de ILP e o SPD apresentaram menores Ds que a PA na camada superficial do solo, no entanto, não houve diferença entre esses sistemas de manejo para a Dp e VTP. A área de CN apresentou RVS e EstC semelhantes ao SPD e ILP na camada superficial do solo; já a ILP apresentou EstC semelhante a área de CN na camada de 10-20 cm.

Palavras-chave: cerrado integração lavoura-pecuária, matéria orgânica do solo, pastagem, sistema de plantio direto

Carbon stock and physical attributes of an Oxisol under different management system

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the changes in carbon stocks, crop residues from the soil surface (RVS), and some soil physical properties such as bulk density (Ds), particle density (Dp) and total pore volume (VTP) under different management systems in the 'Cerrado goiano'. For this, in the southwestern part of Goiás state four different types of management were selected, namely: no-tillage (NT) with crop-livestock integration (ILP), NT without ILP and natural areas of 'Cerrado' (CN) and pasture (PA). In each area, soil samples were collected in 0-5, 5-10 and 10-20 cm depths. The experimental design was completely randomized. Treatment with CN presented in all depths studied (0 to 20 cm) lower values of Ds and the VTP higher than other treatments. Among the management systems, the area of ILP and NT had lower Ds than the PA in the topsoil, however, there was no difference between these management systems for Dp and VTP. The area of CN presented EstC similar to the RVS and NT and ILP in the topsoil, while the ILP presented EstC similar to NC area in 10-20 cm.

Key words: Cerrado, crop-livestock integration, soil organic matter, pasture, no-tillage system

Introdução

A conversão do Cerrado por meio da derrubada e queima da vegetação natural em diferentes sistemas de manejo, pode resultar em alterações na dinâmica da matéria orgânica e fertilidade do solo, aumento da erosão e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção agrícola (Loss et al., 2009; Siqueira Neto et al., 2009). No entanto, sistemas de manejo como SPD e ILP que adicionam matéria orgânica via resíduos vegetais, podem incrementar o conteúdo de carbono orgânico no solo contribuindo para a manutenção da sustentabilidade agrícola do solo (Loss et al., 2011; Salton et al., 2011; Guareschi et al., 2012).

No SPD os solos apresentam, em geral, na camada superficial, após três a quatro anos de cultivo, maiores valores de densidade e menores valores de porosidade total, quando comparados com outros sistemas de manejo (Stone & Silveira, 2001). Tal padrão decorre sobretudo do arranjo natural do solo quando não é mobilizado, e da pressão promovida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobremaneira quando realizado em solos argilosos e com elevados teores de água (Tormena et al., 1998); apesar disto e, segundo esses autores, no decorrer do tempo a Ds sob plantio direto tende a diminuir devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial melhorando a agregação e aumentando a porosidade total do solo.

São poucas e recentes as pesquisas quanto aos efeitos do sistema de ILP nas propriedades físicas do solo (Loss, 2011; Silva et al., 2011). Avaliando diferentes formas de manejo do solo no Cerrado, Souza et al. (2009) e Loss (2011) concluíram que a ILP aumenta a porosidade total e reduz a Ds; segundo os autores, os menores valores de Ds observados no sistema de ILP podem ser atribuídos à utilização da braquiária, que possui um sistema radicular bem desenvolvido, o que favorece a agregação do solo e o maior aporte de matéria orgânica pelo sistema radicular.

Levando em consideração que lavouras com SPD sob integração lavoura-pecuária possuem, como diferencial, a introdução de pastagens de forma alternada com lavouras de soja e que isto pode incrementar o aporte de resíduos orgânicos em relação aos demais sistemas de manejo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as modificações nos estoques de carbono e atributos físicos do solo (resíduos vegetais da superfície do solo, densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp) e volume total de poros (VTP)) sob sistema plantio direto (SPD) com integração lavoura-pecuária (ILP) em comparação a uma área em SPD sem ILP e áreas de Cerrado natural e pastagem no sudoeste de Goiás.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em área de Cerrado, nos municípios de Rio Verde (17° 47' S; 50° 55' W e altitude 780 m) e Montividiu (17° 27' S; 51° 04' W e altitude de 930 m), localizados na região sudoeste de Goiás; como principais características das áreas em estudo se destacam a altitude média de 890 m e o clima, identificado como clima tropical quente, Aw segundo Köppen, e estação chuvosa e seca bem definida, precipitação com média

anual de 1740 mm; o relevo da área é predominantemente plano e os solos das áreas de estudo classificados como Latossolos Vermelhos Distroférico.

Em setembro de 2009 foram analisadas quatro áreas de cultivo, a saber: Sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP), Sistema de Plantio Direto (SPD), Pastagem (PA) e um cerrado nativo (CN) “stricto sensu”, tomada como referência.

O tratamento testemunha (cerrado natural) analisado está localizado dentro da área de reserva da Fazenda Vargem Grande (S 17° 21' 49,9"; W 051° 28' 37,9"; altitude 951m) após tratamento com pastagem plantada de *Brachiaria* (S 17° 21' 17,8"; W 051° 28' 47,8"; altitude 938 m) esta área vem sendo cultivada com uma taxa de lotação aproximada de 2 unidades animal por hectare e apresenta 10 anos de exploração.

O tratamento de ILP (S 17° 19' 27,3"; W 051° 29' 29,3"; altitude 962 m) foi implantado no ano de 1999; antes de sua implantação a área foi manejada durante 7 anos com sistema de preparo convencional (1985-1991) para o cultivo de grãos (milho, feijão, soja e girassol) e com SPD com rotação de culturas – milho, soja, algodão, feijão (1991-1998).

Na ILP a braquiária (*U. ruziziensis*) é semeada em consórcio com o milho safrinha, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano; para isto é feita, após a colheita do milho, a introdução de bovinos na área (2,0 unidades animal por hectare), com permanência dos animais por 90 dias (julho a setembro). Após a retirada do gado permanecem apenas as touceiras de braquiária na área; em seguida, espera-se que ocorram as primeiras chuvas e se realiza uma adubação em cobertura na braquiária com 200 kg ha⁻¹ do formulado N P K (20:00:20) a lanço, na primeira quinzena de setembro; depois da rebrota, quando a área estará totalmente coberta pela capineira, são feitos a dessecação e o plantio das culturas anuais; já a área de SPD (S 17° 25' 16,6"; W 051° 23' 8,1"; altitude 933m), possui um histórico de 20 anos de cultivo convencional com plantio de soja no verão e milho safrinha, sendo o SPD adotado em 1999.

A adubação básica das principais culturas dos sistemas agrícolas foi realizada nas seguintes: 1) ILP - a) algodão (verão) - 500 kg ha⁻¹ da fórmula 10-30-10; b) milho safrinha: 450 kg ha⁻¹ da formulação 07-28-14, no plantio e 100 kg ha⁻¹ de ureia, em cobertura, aos 25 DAE; 2) SPD - a) soja (verão) - 430 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-18; b) milho safrinha: 330 kg ha⁻¹ da fórmula 08:20:18 e 100 kg ha⁻¹ de ureia, em cobertura, aos 25 DAE. O SPD recebeu calagem no ano de 2007 utilizando-se uma dose de 2,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico; já o ILP recebeu calagem no ano de 2005, utilizando-se uma dose de 3,6 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e a área de PA recebe, anualmente (durante a estação chuvosa) adubação nitrogenada (100 kg ha⁻¹ de ureia).

Em cada área foi demarcada uma gleba representativa de 2,25 ha (150 x 150 m), e em cada uma foram abertas cinco trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 0,4 m de profundidade em posição aleatória dentro das glebas (cerca de 100 m de distância entre as trincheiras). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado; em cada uma das trincheiras, foi realizada, nas diferentes áreas, a coleta de quatro amostras indeformadas, com auxílio de um anel volumétrico (Embrapa, 1997), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20

Tabela 1. Atributos químicos e análise granulométrica das áreas de Cerrado (CN), pastagem (PA), sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura-pecuária (ILP)

Área	pH H ₂ O	P mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K ⁺ cmol _c kg ⁻¹	Al	H+Al	T	V %	Argila	Silte kg ⁻¹	Areia
0-5 cm												
CN	4,53	4,15	1,69	1,30	0,20	0,6	11,77	18,0	17,4	594,0	12,0	394,0
PA	5,40	2,76	2,46	2,22	0,46	0,0	6,10	11,2	45,3	577,0	81,0	342,0
SPD	5,70	4,30	3,54	2,14	0,27	0,0	4,56	10,5	56,4	477,0	151,0	372,0
ILP	5,70	6,23	5,34	1,94	0,18	0,0	5,57	13,2	56,3	475,0	128,0	397,0
5-10 cm												
CN	4,40	1,70	0,73	1,00	0,09	0,9	10,50	15,0	12,0	521,0	85,0	394,0
PA	5,27	1,86	2,17	1,65	0,14	0,2	6,37	10,3	38,1	561,0	133,0	306,0
SPD	5,20	6,38	2,69	1,58	0,10	0,0	5,17	9,5	46,0	461,0	100,0	439,0
ILP	5,00	9,42	2,05	1,16	0,11	0,3	7,75	11,0	29,7	625,0	145,0	230,0
10-20 cm												
CN	4,20	0,78	0,48	1,17	0,05	0,9	8,69	12,1	14,1	554,0	102,0	344,0
PA	5,20	1,60	1,73	1,22	0,05	0,2	5,99	9,0	32,8	561,0	100,0	339,0
SPD	5,23	4,33	1,62	0,92	0,09	0,1	6,16	8,8	30,3	528,0	83,0	389,0
ILP	4,60	3,09	1,13	0,85	0,08	0,6	7,86	9,9	20,9	692,0	111,0	197,0

^ CN – cerrado nativo; PA – pastagem; SPD – sistema plantio direto; ILP – Integração lavoura pecuária.

cm; nessas mesmas profundidades foram coletadas amostras deformadas, as quais foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina secada ao ar, na qual foram realizadas a caracterização química e a análise granulométrica (Embrapa, 1997) (Tabela 1).

A densidade do solo (Ds) foi determinada nas profundidades 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm através do método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). O anel volumétrico utilizado na amostragem apresentava 107,48 cm³; já a determinação do C orgânico total (COT) foi realizada pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo; a partir dos dados dos teores de COT e da Ds, foram calculados os estoques de carbono (EstC) pelo método de massa equivalente (Sisti et al., 2004); este método leva em consideração a espessura da camada e a densidade do solo e utiliza, como referência, a massa de solo de um tratamento a qual é tomada como base para o cálculo do estoque em todos os demais tratamentos; para o presente estudo foram consideradas, como referência, as massas de solo das camadas correspondentes ao Cerrado, as quais representa a condição original do solo.

Determinou-se, também, a densidade das partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, visando utilizar esses dados em conjunto com a Ds para o cálculo do volume total de poros (VTP), esta calculada pela equação:

A quantidade de resíduos vegetais depositados na superfície do solo (RVS) em cada área de estudo, foi determinada por meio do lançamento aleatório de um gabarito metálico (0,25 m²) e posterior corte rente ao solo e coleta dos resíduos contidos no gabarito; em cada área de estudo realizaram-se 20 amostragens; os resíduos vegetais coletados foram acondicionados em estufa com ventilação forçada, em temperatura de 65 °C, por 72 h; após este período, realizou-se a pesagem para determinação da massa seca e, a partir desses dados, determinou-se a quantidade de massa seca de resíduos vegetais na superfície do solo, por hectare.

Para todos os dados em cada profundidade foram feitas a avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors), e a homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran & Bartlett; posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Assisat.

Realizou-se também a análise de componentes principais (ACP), por meio do programa Assisat; a ACP é utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise, por meio do gráfico do círculo de correlações.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 pode-se verificar diferença estatística na quantidade de resíduos depositados na superfície do solo (RVS), cujas áreas de CN, SPD e ILP apresentaram quantidades semelhantes entre si e superiores à área de PA.

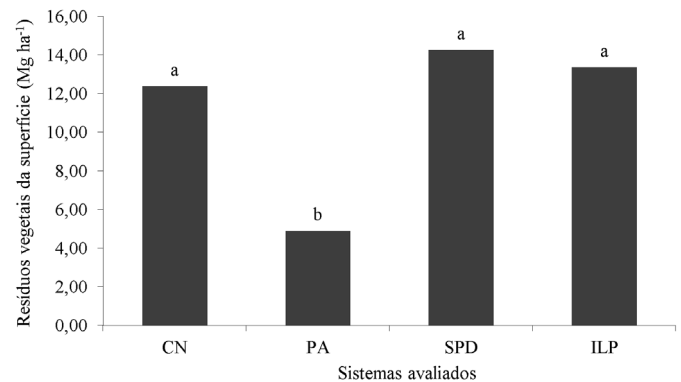


Figura 1. Resíduos vegetais depositados na superfície do solo (RVS) nas áreas avaliadas

Infere-se que a semelhança no RVS entre as áreas de ILP, SPD e CN ocorre em virtude do não revolvimento do solo somado ao constante aporte de palha dos sistemas cultivados. De acordo com Siqueira Neto et al. (2010) o manejo com grande utilização de fertilizantes nas culturas de soja no verão e milho safrinha faz com que o SPD na região do Cerrado gere elevada produção de grãos e de biomassa da planta aumentando os RVS e a matéria orgânica do solo (MOS) com o passar dos anos de implantação do SPD.

A baixa produção de resíduos na área de pastagem (PA) em relação ao CN, SPD e ILP, é devida a um conjunto de fatores, como baixa produtividade, ausência de manejo (principalmente adubação de manutenção) e pastoreio intensivo; o histórico da área de PA demonstra que, anualmente, ela não recebe adubação

de manutenção. De acordo com Zanine et al. (2005) a falta de adubação faz com que haja baixa produtividade da pastagem. Estima-se que 80 % das pastagens cultivadas no Brasil central, responsáveis por mais de 55 % da produção da carne nacional, se encontram em algum estágio de degradação, sendo um dos principais motivos a falta de adubação (Macedo et al., 2000).

Observa-se que, independente da profundidade analisada, o cerrado apresentou a menor Ds e maior VTP quando comparado aos demais sistemas (Tabela 2); nota-se também, entre os sistemas manejados, que o SPD e ILP apresentaram Ds semelhante entre si e inferior a área de PA na camada superficial do solo; conforme a Tabela 2, não foram verificadas diferenças para densidade das partículas (Dp) entre áreas de estudo (Tabela 2). Os valores de Dp se mantiveram entre 2,61 e 2,63 Mg m⁻³, refletindo a composição mineralógica da fração areia e argila, constituída provavelmente por quartzo e caulinita, respectivamente, já que esses minerais possuem valor de massa específica por volta de 2,65 Mg m⁻³.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp) e volume total de poros (VTP) das áreas de estudo avaliadas

Áreas	Profundidade (cm)		
	0-5	5-10	10-20
	Ds (Mg m ⁻³)		
CN	0,62 c [*]	0,76 b	0,90 b
PA	1,20 a	1,17 a	1,15 a
SPD	1,06 b	1,15 a	1,18 a
ILP	1,02 b	1,05 a	1,09 a
CV (%)	9,52	8,95	4,53
	Dp (Mg m ⁻³)		
CN	2,61 a	2,61 a	2,62 a
PA	2,61 a	2,62 a	2,61 a
SPD	2,61 a	2,61 a	2,63 a
ILP	2,61 a	2,62 a	2,62 a
CV (%)	0,99	0,88	0,88
	VTP (%)		
CN	76,14 a	71,09 a	66,02 a
PA	53,78 b	55,30 b	56,17 b
SPD	59,19 b	56,02 b	54,93 b
ILP	60,97 b	60,05 b	58,30 b
CV (%)	6,22	5,97	3,29

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre os diferentes sistemas de uso do solo pelo teste Tukey a 5%

Os menores valores de Ds e maiores valores de VTP do CN em comparação às áreas de cultivo, podem ser atribuídos ao maior acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e a um acúmulo maior de C nas camadas superficiais e pela menor alteração antrópica. Resultados semelhantes foram observados por Figueiredo et al. (2009) e Carneiro et al. (2009), quando os constataram, avaliando sistemas de manejo em Latossolos do Estado de Goiás, que a área de Cerrado foi a que apresentou os menores e maiores valores de Ds e VTP, respectivamente; já em relação aos maiores valores de Ds na camada superficial da área de PA em relação aos demais sistemas manejados (SPD e ILP), este fato ser consequência do efeito do pastoreio excessivo (Pastoreio contínuo de Bovinos de corte com monocultura de forrageira) ao qual esta área é condicionada. Corroboramente, Figueiredo et al. (2008) e Carneiro et al. (2009), constataram, ao avaliar diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho, maior Ds em áreas de PA e atribuíram este resultado ao efeito do pisoteio nas pastagens, pelo gado.

Nas demais profundidades (5-10; 10-20 e 20-40 cm) os sistemas manejados (SPD, ILP e PA) apresentaram Ds semelhantes entre si (Tabela 2); Constatou-se que essas áreas apresentam, até os 20 cm do solo, Ds abaixo do prejudicial ao desenvolvimento das raízes “limite crítico de 1,30 a 1,40 para solo argiloso (Reichert et al., 2003)”²; assim, pode-se inferir que a Ds dos solos estudados não está prejudicando o desenvolvimento das culturas implantadas nas referidas áreas.

Observa-se, nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) que dentre os sistemas de manejo avaliados o CN apresentou os maiores conteúdos de carbono orgânico total (COT) (Tabela 3). Ainda se percebe, nessas profundidades, que as áreas de SPD e pastagem apresentaram valores similares de COT entre si e valores inferiores ao cerrado e à ILP, enquanto na profundidade de 10-20 cm, as áreas de CN e ILP apresentaram valores de COT semelhantes entre si, apresentando a área de CN maiores teores de COT que o SPD e PA enquanto a ILP apresentou COT semelhante a PA (10-20) (Tabela 3). Quanto ao estoque de carbono orgânico (EstC) percebe-se que as áreas de ILP e SPD apresentaram valores semelhantes ao CN (0-5 e 5-10 cm) enquanto na camada 10-20 cm apenas a área de ILP apresentou valores semelhantes ao CN; observa-se, ainda, que a PA apresentou menores ESTC em relação ao CN (todas as profundidades) e ILP (0-5 e 10-20 cm).

Tabela 3. Teores e estoques de carbono orgânico (EstC) dos sistemas de cultivo avaliados

Profundidade (cm)	Sistemas avaliados				
	CN	PA	SPD	ILP	CV (%)
	C orgânico total (g kg ⁻¹)				
0-5	103,36 a	47,90 c	44,87 c	73,62 b	25,03
5-10	91,77 a	42,85 bc	37,31 c	52,94 b	21,48
10-20	56,47 a	33,79 bc	31,77 c	47,90 ab	18,15
	EstC (Mg ha ⁻¹)				
0-5	31,01 a	21,41 b	25,37 ab	30,98 a	10,30
5-10	35,34 a	22,19 b	27,68 ab	30,32 ab	15,44
10-20	69,84 a	39,62 c	49,01 bc	61,70 ab	14,61

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre os diferentes sistemas de uso do solo pelo teste Tukey a 5%

Os maiores valores de COT do CN ocorrem devido ao seu maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo e por se tratar de um sistema em que não ocorreu ação antrópica. Numa situação estável normalmente em solos sob vegetação nativa inalterada, os teores de MOS se mantêm estáveis ao longo do tempo à medida que as adições de C orgânico via resíduos de vegetais e sua conversão em MOS, são da mesma magnitude que as perdas de C orgânico pela mineralização da MOS, promovidas pela atividade microbiana. Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2011) e Loss (2011) que constataram maiores teores de COT em áreas de vegetação nativa quando comparadas às áreas de SPD e ILP.

Pode-se inferir que o maior conteúdo de COT da ILP em relação ao SPD e PA na camada superficial do solo ocorre devido à introdução de espécies forrageiras no sistema, ou seja, essas forrageiras acumulam mais carbono que as culturas agrícolas cuja biomassa é, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (Loss et al., 2011). Segundo Franzluebbbers & Stuedemann (2008) na ILP as pastagens possibilitam um incremento nos teores de carbono em função do alto desenvolvimento vegetal tanto na parte aérea como

nas raízes; desta forma, o C oriundo do efeito combinado dos resíduos vegetais das culturas agrícolas e forrageiras na ILP supera o acúmulo de C derivado apenas de resíduos de gramíneas na PA e culturas agrícolas no SPD. Corroboramente, Loss (2011) também constatou, ao avaliar o COT sob diferentes sistemas de manejo, que a ILP apresentou maior valor desta variável em relação à área de SPD. Segundo o autor, o consórcio da braquiária junto ao milho safrinha propicia a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta e, portanto, favorece o cúmulo de COT devido à sua maior relação C/N.

A semelhança no COT nas profundidades de 10-20 cm entre as áreas de CN e ILP, demonstra que o cultivo do solo no sistema de ILP está aumentando, em profundidade, o teor de COT quando comparado ao SPD; isto pode estar ocorrendo em razão do consórcio do milho com a braquiária que, além de propiciar a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta, favorece maiores aportes de matéria orgânica pelo sistema radicular das gramíneas (milho e braquiária), com destaque para a braquiária, que possui sistema radicular bem desenvolvido e distribuído ao longo do solo.

Nota-se ainda, independentemente da profundidade avaliada, que as áreas de PA e SPD sempre mantiveram quantidades semelhantes de COT; alguns trabalhos têm demonstrado este comportamento (D'Andréa et al., 2004; Rozane et al., 2010); tal fato pode ocorrer porque, assim como o SPD, a PA possui elevada capacidade de acúmulo de MOS pelo não revolvimento do solo, grande produção de biomassa vegetal na superfície do solo e, principalmente, pela intensa renovação do sistema radicular abundante e permanente (Salton, 2005).

Independentemente do sistema de manejo avaliado está ocorrendo uma redução do COT com o aumento da profundidade em relação ao CN; este efeito já foi relatado por alguns autores (Freixo et al., 2002; D'Andrea et al., 2004). Cujos comportamentos se deve ao menor contato do solo com os resíduos orgânicos oriundos da decomposição das plantas e micro-organismos.

A similaridade no EstC entre as áreas de CN, SPD e ILP nas camadas superficiais do solo decorre do maior aporte de resíduos vegetais depositados na superfície do solo, nessas áreas. Corroboramente, Guareschi et al. (2012) também constataram, ao avaliar áreas de SPD em um Latossolo vermelho no estado de Goiás, semelhanças no EstC entre áreas de SPD e cerrado nativo nas camadas superficiais do solo; segundo esses autores, áreas de SPD recebem aporte constante de resíduos vegetais de diferentes qualidades, o que pode ter sido fator preponderante para os valores de EstC serem semelhantes aos observados na área de CN; da mesma forma, Loss (2011) menciona que a ILP se apresenta como sistema promissor para recuperar os estoques de COT originais do solo pois os valores de estoques encontrados em seu trabalho foram iguais aos encontrados na área de Cerradão.

Os valores semelhantes de estoque de COT entre a área de ILP e CN na camada de 10-20 cm, podem decorrer do consórcio do milho com a braquiária, conforme explicado anteriormente. Rossi et al. (2011) também encontraram EstC semelhantes entre áreas de ILP e CN na profundidade de 10-20 cm e atribuíram este resultado à maior concentração das raízes da braquiária nesta profundidade.

Pode-se inferir que o menor EstC da PA em relação ao CN em todas as profundidades é oriundo do seu menor aporte de resíduos vegetais na superfície do solo que, por sua vez, é resultante de um manejo inadequado da PA, como falta de adubação de manutenção e pastoreio intensivo. Silva et al. (2004) também verificaram que pastagens de baixa produtividade em diversas regiões do cerrado, favoreceram a redução do teor de C no solo.

Quanto à ACP, verificou-se que as distribuições das variáveis selecionadas apresentaram variância acumulada para os eixos F1 e F2 de 85,00% (Figura 2A), para a camada de 0-5 cm, 98,03% (Figura 2B) para a camada de 5-10 cm e 95,93% (Figura 2C) e para a camada de 10-20 cm.

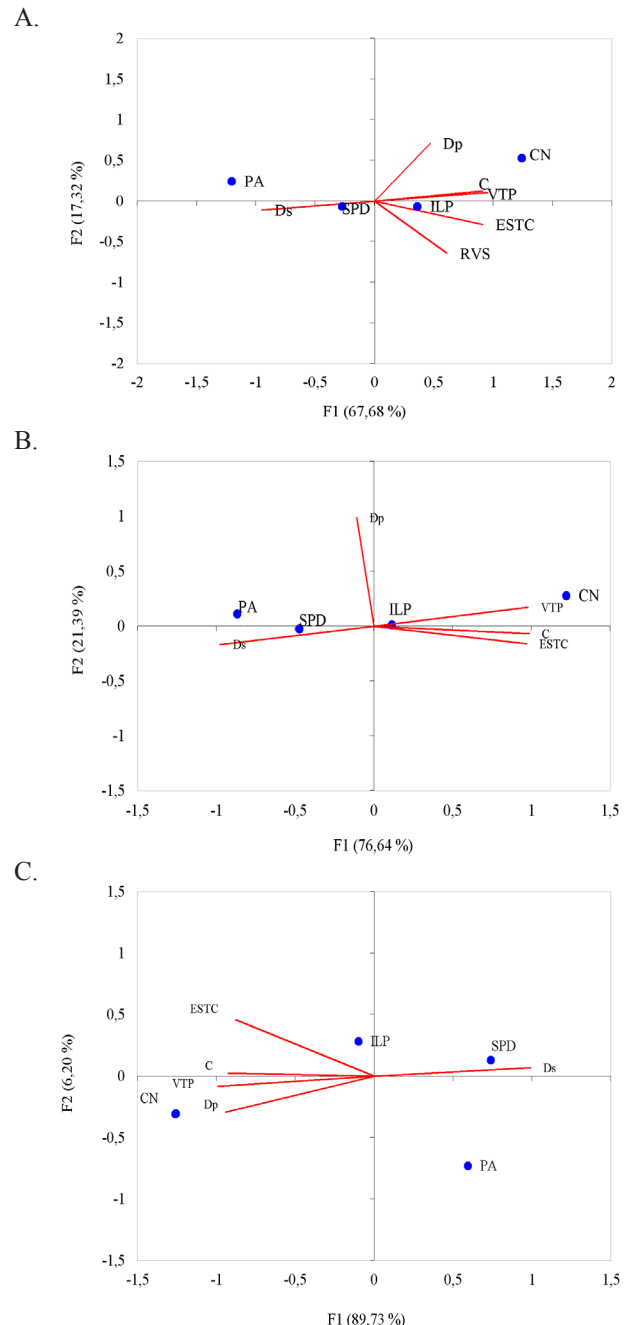


Figura 2. Diagramas de ordenação produzidos por análise de componentes principais, das características avaliadas em amostras de solo coletadas na camada de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C)

Para a ACP, as características avaliadas neste estudo são representadas por setas que, por sua vez indicam a direção do gradiente máximo em que o comprimento da seta é proporcional à correlação da característica com os eixos e à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo; neste sentido pode-se observar, para correlação com o eixo F1, que as variáveis RVS, VTP, C e EstC apresentaram autovetores positivos e Ds apresentou autovetor negativo (Figura 2 A e B); já a Figura 2 C apresentou-se ao contrário, ou seja, as variáveis VTP, C, Dp e EstC apresentaram autovetores negativos enquanto a Ds apresentou autovetor positivo.

O agrupamento dos autovetores positivos (Figura 2 A e B) e autovetores negativos (Figura 2 C) próximos às áreas de CN e ILP demonstra que a ILP está sendo mais eficaz na recuperação do EstC originais do solo, levando a uma melhoria nas propriedades físicas, tais como redução de Ds e aumento de VTP.

Percebe-se ainda que a área de PA apresentou-se próxima do autovetor Ds (Figura 2 A e B) e distante dos demais autovetores RVS, Dp, VTP, C e EstC (Figura 2 A, B e C) tendência que pode ser explicada em relação aos maiores valores de Ds dessa área em referência às demais, causada pelo intenso pisoteio do gado e ao menor aporte de RVS e MOS.

Conclusões

O tratamento com cerrado nativo apresentou, em todas as profundidades analisadas (0 a 20 cm) menores valores de densidade do solo, e o maior volume total de poros, que os demais tratamentos avaliados. Dentre os sistemas manejados o tratamento com integração lavoura-pecuária e sistema de plantio direto apresentou menores densidade do solo que a pastagem na camada superficial do solo; no entanto, não houve diferença entre esses sistemas de manejo para a densidade das partículas e volume total de poros.

O sistema de plantio direto e a integração lavoura-pecuária apresentaram resíduos vegetais na superfície do solo e estoque de carbono, semelhantes ao cerrado nativo na camada superficial do solo mostrando o potencial de recuperação e preservação do carbono orgânico do solo nesses sistemas de manejo; já a integração lavoura-pecuária apresentou estoque de carbono semelhante ao da área de cerrado nativo na camada de 10-20 cm, demonstrando o potencial da utilização da *Brachiaria* na recuperação do carbono orgânico em profundidade no solo.

A análise de componentes principais mostrou-se eficiente para a distinção das áreas avaliadas, tornando-se uma excelente ferramenta para avaliação da qualidade de diferentes sistemas de manejo agropecuários.

Literatura Citada

- Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.1, p.147-157, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>>. 28 Out. 2011.
- D'Andrea, A. F.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Guilherme, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.2, p.179-186, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>>. 28 Out. 2011.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. CNPS. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- Figueiredo, C. C.; Ramos, M. L. G.; Tostes, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. *Bioscience Journal*, v.24, n.3, p.24-30, 2008. <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6749>>. 28 Out. 2011.
- Figueiredo, C. C.; Santos, G. G.; Pereira, S.; Nascimento, J. L.; Alves Junior, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.2, p.146-151, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200006>>. 28 Out. 2011.
- Franzluëbbers, A. J.; Stuedemann, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. *Soil Science Society of America Journal*, v.72, n.3, p.613-625, 2008. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2007.0121>>. 28 Jan. 2012.
- Freixo, A. A.; Machado, P. L. O. A.; Guimarães, C. M.; Silva, C. A.; Fadigas, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.26, n.1, p.425-434, 2002. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a16.pdf>>. 28 Jan. 2012.
- Guareschi, R. F.; Pereira, M. G.; Perin, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.3, p.909-920, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>>. 28 Jan. 2012.
- Loss, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. 133p. Tese Doutorado. <[http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/214_\(DO-2011\)_Arcangelo_Loss.pdf](http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/214_(DO-2011)_Arcangelo_Loss.pdf)>. 28 Jan. 2012.
- Loss, A.; Pereira, M. G.; Giacomio, S. G.; Perin, A.; Anjos, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>>. 28 Jan. 2012.
- Loss, A.; Pereira, M. G.; Schultz, N.; Anjos, L. H. C. dos; Silva, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.1, p.68-75, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100010>>. 28 Jan. 2012.
- Macedo, M. C. M.; Kichel, A. N.; Zimmer, A. H. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. Campo Grande: EMBRAPACNPDC, 2000. 4p.

- Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Braidá, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência Ambiental*, v.27, n.5, p.29-48, 2003. <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.queos.com.br/downloads/Producao_Artigos/5.pdf>. 28 Jan. 2012.
- Rossi, C. Q.; Pereira, M. G.; Giácomo, S. G.; Betta, M.; Polidoro, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. *Bragantia*, v.70, n.3, p.622-630, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000300018>>. 28 Jan. 2012.
- Rozane, D. E.; Centurion, J. F.; Romualdo, L. M.; Taniguchi, C. A. K.; Trabuco, M.; Alves, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. *Bioscience Journal*, v.26, n.1, p.24-32, 2010. <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7031>>. 28 Jan. 2012.
- Salton, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 158p. Tese Doutorado. <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4834>>. 28 Jan. 2012.
- Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Fabrício, A. C.; Macedo, M. C. M.; Broch, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1349-1356, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>>. 28 Jan. 2012.
- Silva, E. F.; Lourente, E. P. R.; Marchetti, M. E.; Mercante, F. M.; Ferreira, A. K. T.; Fujii, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>>. 28 Jan. 2012.
- Silva, J. E.; Resck, D. V. S.; Corazza, E. J.; Vivaldi, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v.103, n.2, p.357-363, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>>. 28 Jan. 2012.
- Siqueira Neto, M.; Piccolo, M. C.; Scopel, E.; Costa Junior, C.; Cerri, C. C.; Bernoux, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, n.4, p.709-717, 2009. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>>. 28 Jan. 2012.
- Siqueira Neto, M.; Scopel, E.; Corbeels, M.; Cardoso, A. N.; Douzet, J. M.; Feller, C.; Piccolo, M. C.; Cerri, C. C.; Bernoux, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. *Soil & Tillage Research*, v.110, n.1, p.187-195, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.07.010>>. 28 Jan. 2012.
- Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohhann, R.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>>. 28 Jan. 2012.
- Souza, E. D. de; Costa, S. E. V. G. de A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. de F.; Andrigueti, M.; Caio, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1829-1836, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031>>. 28 Jan. 2012.
- Stone, L. F.; Silveira, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.2, p.395-401, 2001. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n2a15.pdf>>. 28 Jan. 2012.
- Tormena, C. A.; Roloff, G.; Sá, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.2, p.301-309, 1998. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v22n2a16.pdf>>. 28 Jan. 2012.
- Zanine, A. M.; Santos, E. M.; Ferreira, D. J. Possíveis causas da degradação de pastagens. *Revista Electrónica de Veterinaria*, v.06, n.11, p.1-23, 2005. <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111105/110509.pdf>>. 28 Jan. 2012.