

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, FERTILIDADE E
AGREGAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES SISTEMAS
DE USO NO CERRADO GOIANO**

Arcângelo Loss

2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, FERTILIDADE E
AGREGAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES SISTEMAS
DE USO NO CERRADO GOIANO**

ARCÂNGELO LOSS

Sob a orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação do Professor
Adriano Perin

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Junho de 2011

631.86

L881d

T

Loss, Arcângelo, 1978-

Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano / Arcângelo Loss – 2011.

122 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese(doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 100-122.

1. Compostos orgânicos – Teses. 2. Cerrados – Teor de compostos orgânicos - Goiás – Teses. 3. Fertilizantes orgânicos – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

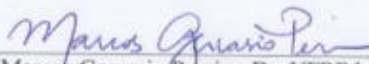
É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.


UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

ARCÂNGELO LOSS


Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, área de concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência** em Agronomia.

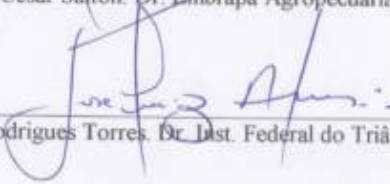
TESE APROVADA EM 10/06/2011.


Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
Orientador


Eduardo Lima. Dr. UFRRJ


David Vilas Boas de Campos. Dr. Embrapa Solos


Julio César Salton. Dr. Embrapa Agropecuária Oeste


Jose Luiz Rodrigues Torres. Dr. Inst. Federal do Triângulo Mineiro

*Aos meus avós Maria Zanotti Loss e Miguel Arcanjo Loss
(in memoriam), Virgínia Novelli Rasselli (in memoriam) e
Antônio Rasselli, aos meus pais Alda e Isaías Loss, aos meus
irmãos Flávio e Letícia, a minha madrinha Geralda, a
minha sogra Miriam e a minha companheira e esposa
Michelle*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo e principalmente pela vida.

Aos meus pais que muito se sacrificaram, para que eu chegasse até esse momento, me ensinando a lutar com dignidade e acima de tudo a respeitar as pessoas.

À minha esposa Michelle, que desde 2001 está ao meu lado partilhando seu carinho, amor e apoio, incondicionalmente sempre me incentivando para que eu supere os desafios da vida familiar e acadêmica.

À minha madrinha Geralda e à minha sogra Miriam, por todo apoio e incentivo dado em todos os momentos. Aos meus irmãos e tios pelo incentivo, carinho e amizade.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo acolhimento, pela lição de vida, pelos amigos adquiridos e por ter conhecido a Michelle.

Ao Dr. Marcos Gervasio Pereira, pela oportunidade de estar junto ao Laboratório de Gênese e Classificação de Solos, pela ajuda prestada desde a graduação até este momento, pela orientação e ensinamentos que muito contribuíram para minha formação.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos por toda ajuda prestada, pela confiança e ensinamentos.

Ao Dr. Adriano Perin, por toda ajuda prestada, seja no momento das coletas, na acolhida em sua casa, e pela prontidão de resposta aos meus e-mails, sobre informações das áreas estudadas.

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pela concessão de bolsa de Doutorado.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRRJ pelo auxílio prestado e ao Instituto Federal de Educação Tecnológica Goiano pelo auxílio na coleta das amostras de terra.

Aos amigos e companheiros do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos, Sidinei, Fernando, Simome, André e Elias pelo empenho e ajuda na realização das análises laboratoriais, e a todos os demais alunos de graduação e pós-graduação, e em especial, aos amigos Thiago, Celeste e Deivid, pelos bons momentos passados juntos.

A todos os funcionários do Departamento de Solos, em especial à Maria Helena, Cristiane, Pedro, Carlinhos, Roberto, Vagner e Marcos.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e pelos bons momentos.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Arcângelo Loss, nascido em 13 de agosto de 1978, em Santa Teresa, Estado do Espírito Santo, filho de Alda Catarina Rasselli Loss e Isaías Isidoro Loss. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no 1º semestre do ano de 2000 no curso de Agronomia, onde graduou-se em novembro de 2005. Foi bolsista de iniciação científica no período de agosto de 2003 a julho de 2005, no laboratório de Gênese e Classificação do Solo. Em março de 2006, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, concluindo o Mestrado em fevereiro de 2008. Em março de 2008 ingressou no Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo.

RESUMO GERAL

LOSS, Arcângelo. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano. 2011.** 122f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é uma excelente opção de uso para solos do Bioma Cerrado, pois a associação com espécies poáceas (braquiária) intensifica a produção de palhada, principalmente no período seco do ano. O Sistema Plantio Direto (SPD) intercalado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e consorciado ao milho safrinha (ILP), comparado ao SPD sem braquiária, pode conduzir a equilíbrio entre a distribuição do C das frações da matéria orgânica do solo (MOS) mais lábeis e recalcitrantes e aumentar estoques de C e N e a agregação do solo. O objetivo geral do estudo foi avaliar contribuições do sistema de ILP na fertilidade do solo, nas frações químicas e físicas da MOS, na distribuição das frações de carbono oxidável, na agregação do solo e nos estoques de C e N em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas em Montividiu, GO: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerradão natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de terra nas profundidades de 0,0-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, e, também até 100 cm, em delineamento inteiramente casualizado. No Capítulo I foram avaliadas a densidade do solo (Ds), caracterização mineralógica e fertilidade do solo. Devido a lotação animal utilizada no ILP não foram constatados aumentos da Ds em comparação à área sem pisoteio animal (SPD). Os valores da relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki) no solo indicam predomínio de gibbsita na área de Cerradão e de caulinita nas áreas cultivadas. O sistema de ILP, mais às adubações das culturas e na braquiária, acarretou maior fertilidade do solo e estoques de nutrientes comparados ao SPD. No Capítulo II foram avaliados indicadores físicos e químicos da MOS. Os indicadores carbono orgânico total (COT), estoques de C da fração ácido húmico (C-FAH) e C oxidável e, os indicadores físicos, C orgânico particulado (COP), matéria orgânica leve (MOL) e fração leve livre (FLL), permitiram inferir que o sistema de ILP aumentou essas frações da MOS comparado ao SPD. No sistema de ILP a distribuição das formas de carbono lábeis (F1) e recalcitrantes (F4) no solo foi mais equilibrada, com maior grau de humificação da MOS e melhor estratificação do COP, comparado ao SPD. No capítulo III foram avaliados os índices de agregação do solo, a distribuição dos teores de C e N e a abundância natural de ^{13}C e ^{15}N dos agregados e o C-CO₂ (carbono mineralizável) proveniente da incubação de agregados do solo. A ILP aumentou os índices de agregação do solo (0-5 e 5-10 cm), os teores de COT e N (0-5 cm), a formação de agregados estáveis em água (5-10 cm) e também o acúmulo de C-CO₂, comparada ao SPD. No Capítulo IV foi avaliada a distribuição do COT, N total, abundância natural de ^{13}C e ^{15}N , e quantificados os estoques de COT e N do solo. A utilização da *Urochloa ruziziensis* com rotação de culturas (ILP) aumentou os teores de COT (0-30 cm) e N (0-20 cm), comparada à rotação de culturas (SPD). Conclui-se que o sistema de ILP foi mais eficiente em estocar COT no solo que a área de Cerradão nas camadas de 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm e, na soma das camadas de 0,0-40,0 e 0,0-60,0 cm. O uso de leguminosas nas áreas cultivadas acarretou em maiores valores de ^{15}N em comparação a de Cerradão. A substituição da vegetação original de Cerradão para implantar lavouras acarretou mudanças do $\delta^{13}\text{C}$, sendo comprovada, após 17 anos de cultivo, a incorporação de C das poáceas nas áreas de SPD e ILP.

Palavras-chave: Indicadores edáficos. Sistema integrado de produção. Sazonalidade.

GENERAL ABSTRACT

LOSS, Arcângelo. **Organic matter dynamic, soil fertility and aggregation in areas under different agricultural systems in Cerrado, Goiás State.** 2011. 122p. Thesis (Doctor Science in Agronomy-Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 201.

The Integrated Agriculture and Cattle-raising System (IACRS) is an excellent option for Cerrado soils, since the association with grasses (*Brachiaria*) intensify biomass production, especially in the year dry season. The No-till System (NTS) interspersed with brachiaria (*Urochloa ruziziensis*) and in consortium with maize (IACRS), when compared to the IACRS without brachiaria provides the best balance between distribution of C in the more labile and recalcitrant fractions of soil organic matter (SOM), and increases C and N stock, and soil aggregation. The general objective of this study was to evaluate the contribution of IACRS system on soil fertility, in chemical and physical fractions of SOM, in the distribution of oxidized carbon fractions, in soil aggregation, and C and N stocks in different land use systems in Cerrado, Goiás State. Two areas with crop rotation were evaluated in Montividiu municipality, Goiás State, identified as: IARCS (*Brachiaria* + corn/bean/cotton/soybean) and NTS (sunflower/millet/soy/corn). A natural area of Cerrado was taken as natural soil reference. Soil was sampled at 0.0-5.0; 5.0-10.0; 10.0-20.0 and 20.0-40.0 depths, and also up to 100.0 cm, in a randomized design. In Chapter I it was evaluated bulk density (BD), mineralogy properties, and soil fertility. Due to the animal range used in the IACRS, it was not observed increase in BD in comparison to the area without cattle (NTS). The values of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki) soil ratio indicate dominance of gibbsite in the Cerrado natural area, and kaolinite in the cultivated areas. The IACRS, associated with crop and pasture fertilization, resulted in higher soil fertility and nutrient stocks, compared with the NTS. In Chapter II physical and chemical indicators of SOM were evaluated. The total organic carbon (TOC), stocks of C in the humic acid fraction (C-HAF) and oxidizable carbon, and the physical indicators, particulate organic carbon (POC), light organic matter (LOM) and free light fraction (FLF), allowed inferring that IACRS increased these SOM fractions when compared with the NTS. The IACRS also provided a balanced distribution of C labile forms (F1) and recalcitrant (F4) in the soil, a higher degree of SOM humification, and better stratification of POC than the NTS area. In chapter III it was evaluated the soil aggregation, distribution of C and N, natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in aggregates and C-CO₂ (mineralization carbon) from soil aggregates incubation. IACRS increased: soil aggregation indexes (0-5 and 5-10 cm), TOC and N (0-5 cm), formation of water stable aggregates (5-10 cm), and also had higher accumulation of C-CO₂ than NTS. In Chapter IV the distribution of TOC, N total, natural abundance of ^{13}C and ^{15}N were assessed, and quantified the TOC and nitrogen values. The usage of *Urochloa ruziziensis* associated with IACRS, increased the TOC levels (0-30 cm) and N (0-20 cm), when compared with NTS. It was possible to conclude that IACRS was more efficient to storage TOC than the natural Cerrado area in the 10.0-20.0 and 20.0-30.0 cm layers, and for the sum of the layers 0.0-40.0, and 0.0-60.0 cm. The use of legumes in the crop systems resulted in higher values of ^{15}N compared to Cerrado area. The replacement of the original Cerrado vegetation by agriculture resulted in changes in $\delta^{13}\text{C}$, as proven after 17 years of cultivation, by incorporation of carbon from grasses in areas of NTS and IACRS.

Key words: Edaphic indicators. Integrated production system. Seasonality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Domínio Morfoclimático do Cerrado e as Relações com os Solos Predominantes	3
2.2	Sistema Plantio Direto com Integração Lavoura–Pecuária	6
2.3	Matéria Orgânica do Solo (MOS)	9
2.4	Fracionamento da MOS	11
2.4.1	Fracionamento químico da MOS	11
2.4.2	Fracionamento físico da MOS	12
2.4.3	Fracionamento oxidável do carbono orgânico do solo	14
2.5	Agregação do Solo	14
2.6	Origem do Carbono e Nitrogênio do Solo por Meio de Isótopos Estáveis	17
2.7	Atividade Microbiana: Evolução de C-CO ₂ (Carbono Mineralizável) em Agregados Incubados em Laboratório	18
3	CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MINERALÓGICA E FERTILIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO	20
3.1	INTRODUÇÃO	23
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.2.1	Localização, clima e solo da área de estudo	24
3.2.2	Sistemas avaliados e histórico de uso	25
3.2.3	Amostragem de solo	29
3.2.4	Análises realizadas	30
3.2.5	Análises estatísticas	31
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.3.1	Composição textural e densidade do solo	32
3.3.2	Formas de ferro extraídas pelo ataque sulfúrico e pelo citrato-bicarbonato-ditionito de sódio e oxalato de amônio	34
3.3.3	Avaliação da fertilidade do solo e estoques de nutrientes	36
3.4	CONCLUSÕES	41
4	CAPÍTULO II: FRAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO	42
4.1	INTRODUÇÃO	45
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	47
4.2.1	Localização, clima e solo da área de estudo	47
4.2.2	Sistemas avaliados e histórico de uso	47
4.2.3	Amostragem de solo	47
4.2.4	Análises realizadas	47
4.2.5	Análises estatísticas	49
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.3.1	Carbono orgânico total (COT) e respectivos estoques (EstCOT)	50
4.3.2	Frações oxidáveis do carbono orgânico total do solo	53
4.3.3	Carbono e estoques de carbono das frações húmicas da MOS	54
4.3.4	Relação entre o carbono das substâncias húmicas e o carbono das frações oxidáveis	57
4.3.5	Carbono e estoques de carbono das frações granulométricas da MOS	59
4.3.6	Matéria orgânica leve (MOL) em água e teores de C e N da MOL	62

4.3.7	Fracionamento densimétrico da MOS - Fração Leve Livre	64
4.4	CONCLUSÕES.....	66
5	CAPÍTULO III: AGREGAÇÃO, CARBONO MINERALIZÁVEL E TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS AGREGADOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO	67
5.1	INTRODUÇÃO	70
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	72
5.2.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	72
5.2.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	72
5.2.3	Amostragem de solo	72
5.2.4	Análises realizadas	72
5.2.5	Análises estatísticas	73
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.3.1	Índices de agregação e distribuição da massa de agregados estáveis em água ...	74
5.3.2	Carbono mineralizável (C-CO ₂) nos agregados do solo.....	76
5.3.3	Distribuição dos teores de carbono e nitrogênio nos agregados do solo.....	79
5.4	CONCLUSÕES.....	82
6	CAPÍTULO IV: ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ABUNDÂNCIA NATURAL DE ¹³ C E ¹⁵ N NO PERFIL DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO	83
6.1	INTRODUÇÃO	86
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	87
6.2.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	87
6.2.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	87
6.2.3	Amostragem de solo	87
6.2.4	Análises realizadas	87
6.2.5	Análises estatísticas	87
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
6.3.1	Distribuição dos teores de carbono e nitrogênio e a relação C/N no perfil do solo	88
6.3.2	Valores de ¹⁵ N (‰) da MOS no perfil do solo.....	91
6.3.3	Abundância natural de ¹³ C (‰) no perfil do solo.....	92
6.3.4	Distribuição dos estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo.....	93
6.4	CONCLUSÕES.....	96
7	CONCLUSÕES GERAIS	97
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

As maiores reservas de carbono encontram-se nos oceanos e no ecossistema terrestre. Neste último, os maiores teores de carbono são verificados no solo, principalmente nas regiões geladas e nas pradarias ou campos de regiões temperadas. Há aproximadamente 200 anos, o homem vem interferindo massivamente no fluxo global de carbono, sendo a agricultura convencional, embasada no uso de arados e grades, a grande responsável pelas perdas de carbono do solo (Machado, 2005).

O sistema plantio direto (SPD) é uma forma de manejo da produção agrícola que reverte esta situação, combatendo eficazmente a erosão e contribuindo significativamente para o aumento dos estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo, principalmente quando associado à rotação de culturas anuais (Silva et al., 2009). Entre essas rotações, associa-se o uso de plantas de coberturas, com ênfase nas forrageiras, como a braquiária (*Urochloa* sp.).

Quando se tem a utilização de espécies forrageiras intercaladas com culturas anuais e pastejo cria-se um sistema integrado de produção, sendo este comumente chamado de integração lavoura-pecuária (ILP). Este sistema de manejo é elencado como uma excelente alternativa para recuperar as degradações causadas pela agricultura moderna. Dentre as benesses que a ILP favorece, cita-se a melhoria da biota e fertilidade do solo, além dos atributos físicos, tais como a agregação do solo.

O sistema de ILP tem sido utilizado como ferramenta para recuperar pastagens degradadas por superlotação e declínio dos teores de nutrientes, com melhoria da produtividade pela intensificação do uso da terra e a menor remoção da vegetação original do solo (Landers, 2007), em especial no domínio morfoclimático do Cerrado. Neste ambiente, em função do clima e da temperatura (verão quente e chuvoso e inverno frio e seco), a taxa de decomposição dos resíduos vegetais é muito elevada, deixando rapidamente o solo descoberto. Esses fatores promovem uma rápida redução da palhada na superfície do solo e, posteriormente, um SPD menos eficiente quando comparado a decomposição que ocorre em outros domínios morfoclimáticos, tais como o das Araucárias e dos Pampas, no Sul do Brasil. Dessa forma, o sistema de ILP torna-se de fundamental, pois seu uso associado com espécies poáceas (braquiária, milho) intensifica a produção de palhada, principalmente no período seco do ano. Além da produção de palhada, têm-se os benefícios oriundos da maior exploração do solo, advindos do sistema radicular das gramíneas, culminado em alterações no ciclo do carbono no solo.

A introdução de culturas agrícolas associadas com pastagens em SPD, com destaque para a braquiária, pode resultar em melhores condições ambientais, uma vez que a diversidade observada neste sistema, os caminhos do fluxo de nutrientes e outros processos comuns na natureza resultam em uma agricultura mais conservacionista (Carvalho et al., 2010).

A ILP em SPD é uma tecnologia genuinamente brasileira, resultando em um sistema em que os benefícios aportados pelo SPD, tais como a manutenção da agregação do solo e o aumento dos teores de matéria orgânica, entre outros, são potencializados pela introdução de espécies forrageiras. De forma geral, estas forrageiras acumulam mais carbono do que as culturas agrícolas, cuja fitomassa se mostra, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (Carvalho, 2007; Embrapa, 2009, Macedo, 2009).

Em áreas com rotação de culturas em SPD tem-se grande aporte de fitomassa vegetal ao solo, principalmente quando se faz uso de plantas de cobertura, como a braquiária, para aumentar a produção de palhada e, também, servir como fonte de alimento para o gado. Desta forma, tem-se o sistema de ILP aliado ao SPD e, no solo cria-se um ambiente mais diversificado se comparado apenas a uma área de SPD, sem o uso da braquiária.

Portanto, esse estudo teve como hipótese que o sistema de integração lavoura-pecuária pode conduzir a equilíbrio entre a distribuição do carbono das frações da matéria orgânica do solo (MOS) mais lábeis e recalcitrantes e, aumentar os estoques de carbono e nitrogênio e a agregação do solo quando comparado ao sistema plantio direto.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

(a) Avaliar a densidade do solo, a caracterização mineralógica e a fertilidade do solo, assim como quantificar os estoques de nutrientes;

(b) mensurar o carbono orgânico total (COT) do solo, o carbono oxidável, o carbono das substâncias húmicas e o carbono das frações granulométricas;

(c) quantificar a massa e o carbono da fração leve livre da MOS e também a matéria orgânica leve em água;

(d) avaliar a estabilidade dos agregados via úmida por meio do diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico, a distribuição dos teores de carbono e nitrogênio e a abundância natural de ^{13}C e ^{15}N dos agregados e, também as variações no fluxo de C-CO₂ (carbono mineralizável) provenientes da incubação de agregados; e

(e) avaliar a distribuição dos teores de COT, nitrogênio, abundância natural de ^{13}C e ^{15}N e quantificar os estoques de COT e nitrogênio do perfil do solo em áreas sob diferentes sistema de uso do solo no Cerrado, em Montividiu, GO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Domínio Morfoclimático do Cerrado e as Relações com os Solos Predominantes

Os domínios morfoclimáticos brasileiros são definidos a partir das características climáticas, botânicas, pedológicas, hidrológicas e fitogeográficas; sendo possível por meio desses aspectos delimitar seis grandes domínios paisagísticos e macro-ecológicos (Ab'Sáber, 1970, 1971, 2003), sendo que cada um tem suas particularidades e especificidades intrínsecas de sua região. Estes domínios são: Amazônico; Cerrados, Mares de Morros, Caatingas, Araucárias e Pradarias.

É interessante salientar que cada um desses grandes domínios apresenta padrões de paisagens, de caráter sub-regional, e eventuais enclaves de paisagens exóticas, sob a forma de recorrência de paisagens vegetais relacionadas a outros domínios. Entretanto, particularidades de compartimentação, depósitos de valor paleoclimáticos e documentos paleontológicos e paleobotânicos demonstram que nem sempre, no decorrer do Quaternário, tais domínios paisagísticos tiveram as mesmas feições e a mesma distribuição do que aquela apresentada ao início da colonização portuguesa no Brasil (Ab'Sáber, 1971; 2003; Silva, 2009).

A priori, vale lembrar que é extremamente conveniente intensificar os estudos sobre o funcionamento e a organização dos domínios morfoclimáticos brasileiros, considerando-se as conjunturas regionais e locais derivadas das ações antrópicas. Indiscutivelmente, a análise das interferências de processos, ações predatórias e agressões lesionantes – diga-se de passagem, interferência antrópica - têm tanta importância para a aplicação das ciências quanto o esforço para o entendimento das condições ecológicas das áreas menos perturbadas pelos homens (Vargas, 2006; Fernandes, 2006).

O Cerrado é um domínio bem antigo e já no Cretáceo (entre 145 milhões e 65 milhões de anos antes do presente) havia uma formação de pré-Cerrado. Logo após esse período, ocorreu o soerguimento do Planalto Central, e uma alteração gradativa do clima, que anteriormente era mais seco, para um período mais úmido, favorecendo a diversificação da flora e da fauna (Machado et al., 2008). A partir deste momento, as fitofisionomias se diversificaram, e a diversidade e a qualidade dos solos, e alguns elementos como o fogo, moldaram o que conhecemos hoje como o domínio do Cerrado (Coutinho, 1978; Eiten, 1972; Lopes e Cox, 1977).

Esse domínio apresenta como clima predominante o tropical sazonal, com duas estações bem definidas: uma seca (de maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). A temperatura média anual é de 25°C, podendo chegar a marcações de até 40°C. A precipitação média anual fica entre 1.200 e 1.800 mm, sendo os meses de março e outubro os mais chuvosos. A vegetação, em sua maior parte, é semelhante à de savana, com gramíneas, arbustos e árvores esparsas, que dão origem a variados tipos fisionômicos, caracterizados pela heterogeneidade de sua distribuição. Dependendo de sua concentração e das condições de vida locais, pode apresentar mudanças diferenciadas denominadas de Cerradão, Campestre e Cerrado (*latu sensu*), intercalado por Formações de Florestas, Várzeas, Campos Rupestres. Nas matas de galeria aparecem por vezes as Veredas (Rizzini, 1997; Walter, 2006www.portalbrasil.net).

O relevo do domínio do Cerrado é, em geral, bastante plano ou suavemente ondulado, estendendo-se por imensos planaltos ou chapadões. Cerca de 50% de sua área situa-se em altitudes que ficam entre 300 e 600 m acima do nível do mar; sendo que apenas 5,5% ultrapassam esta faixa de variação, com altitudes que vão além de 900 m. (www.portalbrasil.netAb' Saber, 2003). O Cerrado é a segunda maior região biogeográfica do

Brasil, se estende por 25% do território nacional, cerca de 2.100.000 km², sendo 700 000 km² com ação antrópica. Sua área engloba 12 estados: Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, a região sul de Mato Grosso, o oeste e norte de Minas Gerais, oeste da Bahia e o Distrito Federal. Prolongações de sua área "core", denominadas áreas marginais, estendem-se, em direção ao norte do país, alcançando a região centro-sul do Maranhão e norte do Piauí, para oeste, até Rondônia. Existem ainda fragmentos desta vegetação, formando as áreas disjuntas do Cerrado, que ocupam 1/5 do estado de São Paulo, e os estados de Rondônia e Amapá. Podem ser encontradas ainda manchas de Cerrado incrustadas na região da Caatinga, Floresta Atlântica e Floresta Amazônica (www.portalbrasil.netAb' Saber, 2003; IBGE, 2004; Sano et al., 2008).

O domínio do Cerrado, sendo predominante na região Centro-Oeste, é caracterizado por uma superfície aplainada pelos processos erosivos naturais. É constituído pelo Planalto Central Brasileiro. Neste predomina o clima tropical quente com veranicos acentuados e grandes extensões de solos profundos, bem drenados, de baixa fertilidade natural. Entretanto, com características físicas favoráveis, além das condições topográficas que permitem a franca mecanização das lavouras (Santos e Câmara, 2002).

Trabalhos pioneiros sobre solos do domínio do Cerrado descreveram-no como sendo, na grande maioria, solos ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e alta saturação por alumínio (Lopes e Cox, 1977; Ritchey et al., 1982). Estas características são válidas principalmente para os Latossolos que representam quase a metade de sua área total (Reatto e Martins, 2005). A baixa CTC presente nestes solos se deve à predominância de argilas de baixa atividade, aliada ao baixo teor de carbono orgânico (Souza e Lobato, 2004). A acidez pode ser explicada pelo fato de serem solos muito intemperizados, onde a atividade, principalmente dos agentes químicos e biológicos, vêm atuando a milhares de anos, contribuindo com o intemperismo e, conseqüentemente, com a perda de bases trocáveis (Vendrame, 2008).

Apesar da monotonia da paisagem, os solos da região do Cerrado são bastante variáveis (Ker e Rezende, 1996). Entre as classes mais expressivas encontram-se os Latossolos (45,7%); Neossolos Quartzarênicos (15,2%); Argissolos (15,1%); Plintossolos (9,0%), além de outras classes com menor expressão geográfica (Santos e Camara, 2002; Reatto e Martins, 2005).

A composição mineralógica dos solos depende principalmente do material de origem que fornece o grupo inicial de minerais e do grau de intemperismo, que faz variar principalmente os teores de caulinita e gibbsita (Vendrame, 2008). Nos Latossolos, a fração argila é composta, principalmente, por caulinita, óxidos de Fe (goethita e hematita) e óxidos de Al (gibbsita). Alguns Latossolos, formados de rochas mais ricas em Fe, apresentam, na fração argila, a maghemita e, na fração areia, a magnetita e a ilmenita (Souza e Lobato, 2004).

Os Latossolos desenvolvidos nas superfícies mais antigas e estáveis (topo superior de topossequência) são os mais alterados, enquanto os encontrados nas superfícies erosionais (terço superior de encosta) ou deposicionais recentes (calha aluvial) são menos desenvolvidos. Os encontrados no terço inferior e encosta apresentam estágio intermediário de alteração. Tendo como base a seqüência de intemperismo mica > caulinita > gibbsita, há tendência de os solos do topo superior da topossequência serem mais gibbsíticos (Rodrigues e Klamt, 1978; Muggler et al., 2007).

Em áreas de Cerrado, Gualberto et al. (1987) verificaram menor quantidade de caulinita na parte superior da topossequência atribuindo esse padrão à baixa disponibilidade de sílica em solução nestas condições, uma vez o relevo e drenagem favorecem a remoção da sílica para partes mais baixas da paisagem. Uma característica importante dos solos da região do Cerrado são os baixos valores de k_i ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), que indicam dessilicação e portanto,

elevado período de atuação dos processos pedogenéticos, o que confirma serem as superfícies desta região, as mais estáveis e antigas do país (Resende e Santana, 1988).

Marques et al. (1992) verificaram que em solos com menor eficiência de drenagem, há predominância de goethita em relação a hematita. Este processo é explicado pelo fato da hematita se formar a partir da desidratação da ferrihidrita. Em ambientes mais úmidos, compostos orgânicos podem complexar o ferro e impedir a formação de ferrihidrita, o que explicaria o favorecimento na formação da goethita (Kampf e Schwertmann, 1983).

A gibbsita é o principal óxido de alumínio que ocorre nos Latossolos (Ker, 1995, 1997), podendo originar-se de um processo rápido de intemperismo dos aluminossilicatos, ou por um intemperismo longo e menos intenso, a partir do intemperismo da caulinita. Nos Latossolos, a presença de gibbsita encontra-se relacionada com o intemperismo intenso, favorecido pelas altas temperaturas, drenagem livre ou circulação intensa de água permitindo a saída de sílica e bases do sistema. Os Latossolos brasileiros da região dos Cerrados têm maior concentração de gibbsita, refletindo em um maior estágio de intemperismo, quando comparados com os Latossolos das regiões mais úmidas e frias da região Sul do Brasil, como o domínio das Araucárias, onde predomina a caulinita (Souza, 1979).

Devido às características apresentadas acima, os solos do Cerrado são bastante ácidos, com pH variando de menos de 4 a pouco mais de 5. Esta forte acidez é devida em boa parte aos altos níveis de Al^{3+} , o que os torna aluminotóxicos para a maioria das plantas agrícolas. Níveis elevados de íons Fe e de Mn também contribuem para a sua toxidez. Baixa CTC, baixa soma de bases e alta saturação por Al^{3+} , caracterizam estes solos como profundamente distróficos e, por isto, originalmente, impróprios para a agricultura (Coutinho, 2000).

A correção do pH pela calagem e a adubação, com macro e com micronutrientes, podem tornar os solos do Cerrado férteis e produtivos, seja para a cultura de grãos ou de frutíferas. Isto é o que se faz em grande parte de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, sendo nesses estados produzidos grãos como soja, milho, sorgo, feijão, girassol e frutíferas como manga, abacate, abacaxi, laranja. Com o advento da calagem e a adubação, o domínio dos Cerrados tornou-se a grande área de expansão agrícola do país nas últimas décadas, sendo a partir de 1970, aprimorado com a utilização do SPD, e mais recentemente, aliado a ILP. Esta última se expandiu com o cultivo de gramíneas africanas introduzidas, de alta produção e palatabilidade, como a braquiária, por exemplo (Coutinho, 2000).

Os Latossolos, que representam aproximadamente 45,7% dos solos da região do Cerrado, são descritos como muito intemperizados, profundos, não-hidromórficos, com teor de argila entre 15 e 80 % e pequena reserva de nutrientes para as plantas. Mais de 95% são distróficos ou álicos e apresentam pH entre 4,0 e 5,5, baixa CTC, alta capacidade de adsorção aniônica (especialmente fosfato) e teores insatisfatórios de P-disponível por Mehlich⁻¹ (menores que 1,0 mg kg⁻¹) (Resende et al., 1995). Esta característica, associada à alta capacidade que esses solos têm para reter o P na fase sólida, é a principal limitação para o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável sem a aplicação de adubos fosfatados (Eberhardt et al., 2008).

Avaliando o efeito dos componentes mineralógicos da fração argila sobre a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), Bahia-Filho (1982) verificou que a goethita (Gt) foi a principal responsável, contribuindo com 86% do total da CMAP. Segundo Borggaard (1983) e Torrent et al. (1994) os solos goethíticos, geralmente, fixam mais P do que os hematíticos, por ser menor a superfície específica da hematita, decorrente da maior dimensão dos cristais, o que desfavorece a fixação de P. Os óxidos de Fe amorfos, apesar de serem quantitativamente uma fração secundária, podem influenciar a sorção do P. De acordo com Borggaard (1983), os óxidos de Fe amorfos adsorvem 3,5 vezes mais P que os óxidos de Fe bem cristalizados, por apresentarem maior superfície específica, sendo 2,9 vezes maior.

Em estudo recente sobre a influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do P em Latossolos sob pastagens no Cerrado, Eberhardt et al. (2008) verificaram que o P disponível (resina) correlacionou-se negativamente com características mineralógicas e granulométricas e, positivamente com os teores de MOS. Tanto os óxidos livres totais, como os amorfos, tiveram correlações negativas com o P-remanescente (Prem), sendo este padrão também observado para a gibbsita, goethita e hematita. Entretanto, os autores não encontraram relação da caulinita com o Prem, indicando a baixa participação desta na adsorção de P nos Latossolos do Cerrado. Em relação a MOS, os autores observaram correlação negativa entre o Prem e o carbono, ou seja, maiores estoques de C e, também, maiores proporções de C na forma de substâncias húmicas, que por sua vez, bloqueiam os sítios de adsorção do fosfato. Assim, tem-se maiores teores de Prem na solução. De maneira geral, Eberhardt et al. (2008) concluíram que os óxidos de Fe e Al foram os componentes mineralógicos que exerceram maior influência sobre a retenção de P em solo de Cerrado.

Em estudo avaliando a mineralogia da fração argila de Latossolos de Minas Gerais, Ferreria et al. (1999) encontraram predomínio de gibbsita em comparação a caulinita e, goethita em comparação a hematita. Estes resultados demonstram a maior participação da gibbsita e da goethita na retenção de P nos Latossolos de Cerrado, corroborando os resultados encontrados por Eberhardt et al. (2008).

Avaliando a fertilidade e a acidez de Latossolos (textura média, argilosa e muito argilosa) sob pastagens na região do Cerrado na profundidade de 0,0-20,0 cm, Vendrame (2008) encontrou teores de nutrientes abaixo do recomendado e algum grau de degradação da fertilidade química. O autor encontrou teores de nutrientes abaixo do recomendado para o bom desenvolvimento das pastagens, sendo 90% dos teores de fósforo, 70% teores de potássio, 40% teores de cálcio e 15% teores de magnésio abaixo do ideal. Entretanto, os solos de textura argilosa e muito argilosa apresentaram maiores valores de Ca, Mg, CTC a pH 7, CTC efetiva, soma de bases e V%, e menores valores de saturação por Al que os de textura média. Estes resultados sugerem maior efeito protetor da fração argila sobre a mineralização dos compostos orgânicos (Zech et al., 1997).

O teor de MOS nos solos do Cerrado é geralmente pequeno, sendo estes maiores em superfície, devido ao aporte de resíduos vegetais, com posterior decréscimo em profundidade. Estes teores de MOS, associados à textura, que de maneira geral apresenta grande quantidade da fração areia (exceto para alguns Latossolos argilosos) e ao clima tropical, tem-se maior taxa de decomposição da fitomassa, com posterior declínio dos teores de MOS. Desta forma, tem-se o solo mais rapidamente descoberto, com maiores chances de erosão e lixiviação dos nutrientes.

2.2 Sistema Plantio Direto com Integração Lavoura-Pecuária

A agricultura está entre as grandes intervenções do homem na natureza. O cultivo convencional do solo, historicamente à base de fogo e implementos (arados e grades), sempre teve como objetivo limpar a superfície do solo e prepará-lo para o cultivo, sem a preocupação de conservá-lo. Grandes áreas agrícolas eram intensamente aradas e gradeadas e ficavam expostas à força dos diversos tipos de erosão, tendo como consequência a perda de milhares de toneladas de solo da camada arável e também a exaustão de sua fertilidade. Na busca de alternativas para amenizar esse problema ambiental, produtores e pesquisadores desenvolveram o sistema plantio direto (SPD), cujo princípio básico é não revolver o solo (Silva et al., 2009) e, também, a utilização de palhada como cobertura do mesmo.

O SPD é utilizado em aproximadamente 100 milhões de hectares no mundo e em 25 milhões de hectares no Brasil, na safra agrícola de 2005/06 (FEBRAPDP, 2008), e na safra atual, 2010/11, próximo dos 32 milhões (CONAB, 2009; BIGMA, 2011). Este sistema foi introduzido no Brasil na década de 1970 e já passou por várias adaptações, mas ainda existem

ajustes e aprimoramentos a serem estudados, principalmente na sucessão soja e milho safrinha do Centro-Oeste brasileiro (Ceccon et al., 2009; Martins et al., 2009), devido a limitações ao sucesso do sistema relacionadas às condições sócio-econômicas e climáticas em que é implementado (Giller et al., 2009).

Na década de 70, com a expansão da mecanização agrícola, a adoção do sistema de preparo convencional e abertura de novas áreas para cultivo da soja, a taxa de perda de solo alcançou valores muitas vezes superiores aos limites toleráveis, ameaçando severamente a sustentabilidade da atividade e comprometendo a qualidade ambiental. O SPD se mostrou eficiente em reduzir as perdas de solo, principalmente, com valores de controle superiores a 90% e de reduzir a contaminação dos recursos hídricos com sedimentos agrícolas. Após um período de maturação e adaptação, o SPD, a partir da década de 90, alcançou uma taxa de incremento de 1,5 milhões de ha⁻¹ ano⁻¹, de modo que o país passou a dividir com os Estados Unidos a liderança mundial na adoção do SPD. Na medida em que o sistema passou a ser utilizado de norte a sul no país, nas mais diferentes regiões (clima semiárido, tropical e subtropical), tipos de solo (arenoso e argiloso) e de culturas (gramíneas e leguminosas, principalmente), a diversidade da qualidade do SPD aumentou consideravelmente (Amado, 2009).

As áreas de Cerrado são predominantes no Brasil Central. Os solos nestas áreas apresentam-se, normalmente, como de baixa fertilidade natural e altos níveis de acidez. Entretanto, técnicas agrícolas desenvolvidas durante os últimos 20 anos permitiram a adoção do SPD nestas áreas. Mas há apenas algumas experiências em longo prazo com resultados conclusivos nas mudanças da fertilidade de solo sob o SPD nestes solos tropicais (Pavinato et al. 2009a,b). No sul do Brasil tem-se a maior cobertura do solo (86%) e a menor área de pousio (10%) do país, explicada em parte pelas condições mais favoráveis à conservação dos resíduos culturais. Nas demais regiões, as condições climáticas favorecem a rápida decomposição dos resíduos vegetais (Sá et al., 2004). Este fato, provavelmente, justifica que a grande maioria de culturas utilizadas, excetuando-se a soja, sejam gramíneas. Assim, os resíduos culturais que mais frequentemente recobrem o solo, consideradas todas as regiões do país, são os provenientes das plantas de milho (27%), milho (22%), aveia (16%), trigo (12%) e sorgo (11%), portanto todas gramíneas (Amado, 2009).

Outra característica importante para se avaliar o SPD é o tempo de adoção. Sá et al. (2004) ressaltaram a importância do tempo de adoção do SPD para que as alterações tais como acúmulo de matéria orgânica, agregação do solo e ciclagem de nutrientes se processem. Segundo Anghioni (2007), o SPD nos primeiros 5 anos de uso está na fase inicial de adoção do sistema, onde se tem no solo baixos teores de MOS, baixo acúmulo de palhada, restabelecimento da atividade microbiana, entre outras, e a medida que aumenta o tempo de adoção do SPD (5-10 anos, fase de transição; 10-20 anos, fase de consolidação e mais de 20 anos, fase de manutenção) têm-se a melhoria dos atributos edáficos e o acúmulo de palhada. Hoje, pode-se afirmar que o SPD está desempenhando importantes serviços ambientais em algumas regiões, enquanto em outras se faz necessário um aprimoramento do sistema para que este padrão seja uma realidade (Silva et al., 2009; Amado, 2009).

Decorrente dos sistemas de manejo adotados, no cenário atual discute-se muito sobre qualidade do solo e indicadores eficientes que a possam medir. Porém, o grande desafio em relação à qualidade do solo não está na identificação de um indicador ou na sua avaliação, e sim no planejamento de agroecossistemas complexos que privilegiem o cultivo diversificado de plantas. Desta forma, o SPD, aliado a integração lavoura-pecuária (ILP), destaca-se como promissor para este fim, uma vez que a complexidade dos ecossistemas (SPD = rotação/consorciação de culturas: gramíneas (ILP) x leguminosas) é o que faz a diferença para o desempenho eficiente das funções do sistema solo, determinando sua qualidade e, conseqüentemente, a qualidade ambiental (Vezzani e Mielniczuk, 2009).

Um sistema de ILP eficiente depende das condições edafoclimáticas, entre outras características, tais como dos sistemas de produção, dos fatores socioeconômicos e dos mercados de produtos e insumos vigentes em uma dada localidade. No tocante aos fatores climáticos (luz, temperatura, radiação solar), à disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo, esses representam o ambiente no qual se desenvolvem as plantas (cultura e forrageira), e por sua vez, o solo pode ser caracterizado quanto aos aspectos físicos, químicos e biológicos, que interagem entre si e com a cobertura vegetal (palhada). Essas propriedades passam a ser influenciadas pelo manejo da pastagem e da lavoura, sendo este, um dos principais fatores no controle do sistema de integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto (Townsend et al., 2009).

Nos sistemas de ILP, as principais vantagens elencadas para a agricultura e a pecuária são o retorno parcial ou total mais rápido do capital investido; produção de forragem em quantidade e qualidade, recuperação da produtividade das pastagens, melhoria da fertilidade do solo, economia na implantação de pastagens permanentes; melhoria das características físicas e biológicas do solo sob pastagem, principalmente pelo acúmulo de MOS e retenção de água; produção de palhada para a cobertura do solo usada no SPD; menores limitações biológicas, tais com a ocorrência pragas, doenças e plantas invasoras (Gimenez et al., 2009; Carvalho et al., 2005; 2010a,b; Townsend et al., 2009).

Nos sistemas de ILP, o efeito sinérgico entre pastagens e lavoura tem potencial para: aumentar os estoques de carbono no solo, reduzir emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera, verticalizar a produção agropecuária, reduzir as pressões de desmatamentos nas áreas de expansão agrícolas e, conseqüentemente, conferir sustentabilidade ao sistema de produção agrícola. Entretanto, ainda existem poucos estudos avaliando a dinâmica das frações da MOS no domínio morfoclimático do Cerrado em relação a mudança do uso da terra para ILP (Carvalho, 2007; 2009; Carvalho et al., 2010a,b,c).

Atualmente, no Bioma Cerrado aumentou consideravelmente a adoção de sistemas integrados de cultivo, como a ILP (Loss et al., 2011a), os quais vêm exibindo considerável potencial de acúmulo de carbono no solo (Carvalho et al., 2009, 2010b,c). No Brasil, a ILP sempre foi utilizada, o que é uma técnica relativamente nova é a introdução desse sistema no âmbito do SPD (Carvalho et al., 2005; Fontanele et al., 2006; Marchão et al., 2009).

Esses sistemas integrados de produção podem ser adotados com finalidades distintas, variando desde o ponto de vista da produção agrícola como da pecuária. A ILP, quando realizada em sistemas de produção de grãos e fibras, tem como principais objetivos a formação e manutenção de palhada para sustentabilidade ao SPD. De acordo com Kluthcouski et al. (2006), o uso de gramíneas perenes em ILP, como as braquiárias, seja em consorciação, sucessão ou rotação com culturas anuais, pode minimizar a degradação do solo. Isto se dá pelo efeito benéfico dessas gramíneas nos atributos físicos deste e, ainda, resultar em aumento do estoque de carbono do solo e conseqüente redução das emissões de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Estudos realizados na região do Cerrado têm demonstrado incremento nos estoques de carbono do solo em sistemas de ILP sob plantio direto, quando comparados aos de áreas sob SPD sem a presença de forrageira na rotação ou sucessão de cultivos. Salton (2005), avaliando taxas de acúmulo de C em diferentes sistemas de uso e manejo da terra no Cerrado, observou maiores estoques de C relacionados à presença de forrageiras, com maiores valores de C nas áreas com pastagem permanente, seguidas por ILP em SPD, lavoura em SPD e por fim, lavoura em cultivo convencional. Esse autor observou que as taxas de acúmulo de carbono no solo nas áreas de ILP sob plantio direto, em relação a lavouras sob SPD, foram de 0,60 e 0,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para estudos na região de Dourados e Maracaju. Resultados preliminares de Carvalho et al. (2009) na região do Cerrado indicam que a taxa de acúmulo de carbono na conversão do SPD para ILP sob plantio direto pode ser muito maior,

variando de 0,80 a 2,80 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, esses estudos ainda não estão totalmente concluídos e necessitam de mais pesquisas de longa duração para melhor entendimento da dinâmica de carbono nesses sistemas integrados de produção.

2.3 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

A intervenção humana nos ecossistemas naturais para implantar atividades agropecuárias diminui os estoques de C e altera a composição química da MOS (Silva et al., 1999). Além das mudanças na quantidade de matéria orgânica em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade (Blair et al., 1995; Shang e Tiessen, 1997). Em regiões de clima temperado, o cultivo contínuo do solo aumenta o grau de aromaticidade da matéria orgânica e diminui a presença de frações orgânicas de maior biodisponibilidade (Preston, 1996). Em solos tropicais, naturalmente, a biodisponibilidade da matéria orgânica é menor, sendo elevada a presença de compostos orgânicos ricos em grupamentos aromáticos e carboxílicos (Zech et al., 1997).

Em alguns solos brasileiros, estudos têm mostrado que as perdas acentuadas de carbono com o desmatamento e cultivo dos solos são acompanhadas pelo consumo de frações orgânicas de maior labilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da MOS (Silva et al., 1999). As reduções nos estoques de carbono e as mudanças na composição da matéria orgânica comprometem a sustentabilidade desses agroecossistemas, uma vez que a maior disponibilidade, no solo, de compostos orgânicos pode aumentar a CTC (Bayer e Bertol, 1999), a atividade microbiana (Scherer et al., 2007), diminuir os efeitos negativos do alumínio tóxico (Ciotta et al., 2002), aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo e reduzir a adsorção de grupamentos fosfatos aos colóides dos solos (Guertal et al., 1991).

O termo MOS refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas (Roscoe e Machado, 2002; Silva et al., 2004; Mielniczuk, 2008). Os benefícios oriundos da MOS sobre os processos edáficos incluem desde o intemperismo e formação do solo (Tan, 1996) até a estabilização dos agregados (Mielniczuk et al., 2003).

A MOS é um grande reservatório de nutrientes vegetais e de carbono, afetando diretamente os atributos físicos, químicos, biológicos e morfológicos do solo. Assim, o estudo e a compreensão de sua dinâmica são fundamentais para a manutenção da sustentabilidade dos diferentes sistemas agrícolas. Dentre os diversos fatores que controlam os teores de MOS, tais como a textura, o clima, o tipo de vegetação, o manejo empregado no solo, destaca-se, principalmente, a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (Silva et al., 2004; Carvalho et al., 2009; Cardozo et al., 2010).

Universalmente, a MOS é listada como a componente chave da qualidade do solo, principalmente nos solos tropicais, pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível frente a modificações impostas pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando na infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Karlen et al., 1992; Gregorich et al., 1994). Resumidamente, a MOS serve para dar vida ao solo, pois na sua ausência, o solo não tem como manter qualquer tipo de cobertura vegetal (Doran e Parkin, 1994; Mendonça e Rowell, 1994; Vezzani, 2001; Carter, 2002; Conceição et al., 2005; Vezzani e Mielniczuk, 2009).

Dentre os componentes da MOS que representam um bom indicador de sua qualidade, estão o carbono da fração leve (Freixo et al., 2002, Leite et al., 2003; Pinheiro et al., 2004; Xavier et al., 2006), o carbono lábil (Rangel et al., 2008; Loss et al., 2009a, 2010a) e o carbono da matéria orgânica particulada (Bayer et al., 2004; Conceição et al., 2005; Loss et

al., 2009b). A agregação do solo também representa um bom indicador, principalmente os agregados maiores que 2,00 mm (Cordeiro et al., 2010; Loss et al., 2011a, Vezzani e Mielniczuk, 2011).

Em solos tropicais e subtropicais, a MOS tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, favorecendo também a retenção de cátions, à complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, propiciando melhorias na agregação do solo, no fluxo da água, na aeração e à atividade biológica (Bayer e Mielniczuk, 2008).

O impacto dos sistemas de manejo do solo sobre a dinâmica da MOS, ou em outras palavras, sobre o ciclo do carbono nos agroecossistemas merece especial atenção. E, no tocante ao Bioma Cerrado, esta atenção deve ser redobrada, pois este é uma região de fronteira agrícola, destacando-se como produtora de alimentos e energia para suprir as necessidades do país e de outras partes do mundo. Entretanto, os solos do Bioma Cerrado caracterizam-se, em sua grande maioria, por serem altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural. Associado a estas características, destaca-se o clima estacional, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco, acarretando em uma elevada taxa de decomposição dos resíduos vegetais (Resck et al., 2008).

Portanto, sistemas de manejo capazes de manter e/ou até mesmo incrementar o carbono orgânico podem contribuir para a manutenção da capacidade produtiva dos solos e diminuição da emissão CO₂ para a atmosfera (Jantalia, 2005; Zotarelli, 2005; Costa Júnior, 2008; Cerri et al., 2010; Siqueira Neto et al., 2011). Desta forma, a disponibilidade de métodos práticos e eficientes para avaliar a dinâmica do carbono se faz necessária, principalmente em macro e microagregados do solo (Szakács, 2007; Vezzani e Mielniczuk, 2011).

Portanto, os estudos visando uma melhor compreensão da dinâmica da MOS em áreas de cultivo e vegetação natural não ficam restritos apenas a avaliação dos teores de COT e desta forma busca-se estudar os compartimentos da MOS, a fim de se criar estratégias de manejo do solo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente (Souza et al., 2006; Marchão et al., 2007; Costa Junior, 2008; Loss et al., 2009a,b; Frazão et al., 2010).

Estudos como os de Conceição et al. (2005), Xavier et al. (2006), Maia et al. (2007); Rangel et al. (2008), Loss et al. (2009a,b; 2010a) e Pereira et al. (2010) têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de carbono no solo associadas ao manejo. As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo de carbono orgânico total do solo (Janzen et al., 1992; Loss et al., 2009b). Numa escala crescente de sensibilidade, obtém-se, em primeira ordem, a biomassa microbiana do solo, bastante variável e sensível, considerada como compartimento ativo na dinâmica da MOS (Lundquist et al., 1999); em seguida, representando uma medida de sensibilidade intermediária, teria-se a matéria orgânica leve (Freixo et al., 2002; Pinheiro et al., 2004).

A MOL é uma fração ativa no solo, sendo constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição e apresenta um tempo de residência no solo que varia de 1 a 5 anos (Janzen et al., 1992). A MOL é uma fração delimitada por tamanho compreendido entre 0,25 e 2,0 mm, podendo ser quantificada por meio de flotação do material leve em líquido de densidade variando de 1,6 a 2,0 kg L⁻¹ (Sohi et al., 2001) ou em água (Anderson e Ingran, 1989).

A matéria orgânica leve, nos solos, além de constituir-se, principalmente, de partes de plantas, pode ter resíduos de animais e microrganismos presentes em diversos estádios de decomposição. Uma das atividades mais importantes de microrganismos do solo é a decomposição da matéria orgânica, com liberação de nutrientes para a solução do solo e sua absorção pelas plantas (Ruivo et al., 2005). A manutenção desse compartimento (MOL),

portanto, torna-se fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que este representa, em curto e médio prazo, potencial para ciclagem de nutrientes (Compton e Boone, 2002).

Avaliando a MOL em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba (CE), Xavier et al. (2006) verificaram maiores teores de MOL e carbono da MOL nas áreas com manejo orgânico e atribuíram este resultado a maior aporte de matéria orgânica. Já em áreas de rotação de culturas em sistema plantio direto (SPD) com e sem integração lavoura pecuária (ILP) no Cerrado goiano, Loss et al. (2011a) verificaram que o uso da braquiária junto ao milho safrinha (ILP) aumentou os teores de MOL quando comparado à área em SPD na ausência da braquiária.

Segundo Pereira et al. (2010), que avaliaram os teores de carbono orgânico total (COT) e MOL em água, em áreas de Cerrado (MG) sob SPD com diferentes cultivos e plantas de coberturas do solo, a MOL é um indicador mais responsivo à interação dos efeitos dos sistemas de manejo e culturas agrícolas avaliadas, em comparação ao COT.

2.4 Fracionamento da MOS

As frações químicas ou físicas da MOS e sua posterior caracterização são frequentemente usadas em estudos de gênese e manejo do solo, para avaliar a dinâmica da MOS e sua reatividade (Christensen, 2001; Freixo et al., 2002; Pinheiro et al., 2004; Silva et al., 2006; Pinheiro, 2007; Conceição et al., 2008; Loss et al., 2009b; Fontana et al., 2010a; Loss et al., 2010b).

Os diversos tipos de fracionamento utilizados em estudos de MOS tentam reduzir a sua heterogeneidade (Carter, 2001), procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (Christensen, 2000). A escolha do método de fracionamento depende do objetivo do estudo que se conduz, seja ele para a caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS (Dieckow et al., 2005; Fontana et al., 2008; 2010a,b) ou para a quantificação ou descrição de compartimentos da MOS importantes na ciclagem e liberação de nutrientes às plantas (Collins et al., 1997; Pinheiro et al., 2004; Frazão et al., 2010; Pillon et al., 2011), seja por meio do fracionamento densimétrico (Christensen, 2001; Pinheiro, 2007; Conceição et al., 2007; 2008) e/ou fracionamento granulométrico (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2009b) ou fracionamento por graus de oxidação do COT (Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008; Loss et al., 2010a; 2011b).

2.4.1 Fracionamento químico da MOS

O fracionamento químico em estudos da MOS é um procedimento bastante conhecido (Kumada, 1987; Stevenson e Cole, 1999; Benites et al., 2003; Cunha et al., 2001; 2005, Fontana et al., 2008a; 2011; Loss et al., 2010b). Consiste na extração de substâncias húmicas do solo baseada em diferenças na solubilidade das mesmas em soluções ácidas ou alcalinas (Stevenson e Cole, 1999), e posterior obtenção de três principais componentes: fração ácido húmico (FAH), que é solúvel em extrato alcalino, mas precipita-se sob acidificação; fração ácido fúlvico (FAF), que permanece em solução quando o extrato alcalino é acidificado, e a humina (HUM), que é a fração que não pode ser extraída de solos e sedimentos por diluição ácida ou básica, ou seja, é o resíduo da separação das outras duas frações.

As substâncias húmicas constituem a maior fração da matéria orgânica (60-70%) do solo, sendo estruturalmente muito complexas, relatadas como macromoléculas que tem aparência escura, elevada acidez e geralmente heterogêneas. Elas são constituídas de carbono, oxigênio e às vezes pequenas quantidades de nitrogênio e ocasionalmente fósforo e enxofre (Jones e Bryan, 1998). Para obtenção das frações húmicas e comparação dos resultados com outros trabalhos, se adota o método preconizado pela Sociedade Internacional de Substâncias

Húmicas (Swift, 1996) e adaptado por Benites et al. (2003), por ser um procedimento adequado para os vários tipos de solos e que pode ser conduzido na maioria dos laboratórios.

Estudos da MOS através da extração e fracionamento de substâncias húmicas têm sido conduzidos para o entendimento da pedogênese (Anjos et al., 2008; Fontana et al., 2008a; 2011), da melhoria de propriedades físicas do solo (Roth et al., 1992; Souza e Melo, 2003; Passos et al., 2007a; Fontana et al., 2010c; Loss et al., 2010b), da diminuição da fixação do fósforo (Fontana et al., 2008b) das interações organo-minerais (Dick et al., 2000; Saab e Martin-Neto, 2007) e do impacto da agricultura na qualidade do solo (Mendonza et al., 2000; Cunha et al., 2001; Oliveira Junior et al., 2008; Fontana et al., 2010a).

Avaliando a quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação, Loss et al. (2010b) verificaram que o fracionamento químico da MOS foi útil para identificar mudanças provenientes de sistemas de uso do solo e estações do ano sob manejo orgânico. Os autores constataram que o SPD aumentou os teores de carbono da FAH quando comparado ao preparo convencional do solo, e que este propiciou maiores teores de carbono da FAF em profundidade.

Em estudo sobre a relação entre agregação e as substâncias húmicas (SHs) e posterior caracterização das SHs em solos de tabuleiros costeiros sob diferentes coberturas vegetais, no norte do Estado do Rio de Janeiro, Fontana et al. (2010c) observaram que a fração húmica revelou-se como melhor componente de agregação no solo Argissolo Amarelo e os ácidos húmicos no Latossolo Amarelo, ambos sob a cobertura de floresta secundária. Em relação a caracterização espectroscópica dos ácidos húmicos, Fontana et al. (2010a) verificaram que a substituição da cobertura original do solo (floresta) por pastagem e cana de açúcar, refletiu em AH com características que indicam oxidação do carbono orgânico com a presença de estruturas mais recalcitrantes, enquanto as áreas de floresta apresentaram componentes mais alifáticos que indicam a deposição constante de serapilheira.

2.4.2 Fracionamento físico da MOS

Os fracionamentos densimétrico e/ou granulométrico da MOS são métodos físicos considerados menos destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ*, quando comparados com os métodos químicos (Christensen, 1992, 1996, 2000; Feller et al., 2000; Roscoe e Machado, 2002). Existe forte tendência em se adotar métodos físicos para fracionamento em estudos sobre ciclagem e dinâmica da MOS (Stevenson e Elliott, 1989; Gregorich e Ellert, 1993; Feller e Beare, 1997; Elliott e Cambardella, 1991; Cambardella, 1997; Christensen, 1992, 1996, 2000; Conceição et al., 2007; 2008; Pinheiro, 2007).

O fracionamento densimétrico permite a obtenção da Fração Leve Livre (FLL), separada mediante agitação branda em líquido de densidade conhecida, da Fração Leve Oclusa (FLO) separada após a dispersão completa dos agregados e da Fração Pesada (FP) que é composta basicamente de complexos organo-minerais primários (Christensen, 1992; Roscoe e Machado, 2002). A FLL é constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais, mas contendo quantidades razoáveis de resíduos microbianos (hifas fúngicas, esporos). Sua composição bioquímica é comparável àquela de materiais vegetais e da liteira (Golchin et al., 1994a,b; Skjemstad et al., 1996; Pillon, 2000; Freixo et al., 2002), porém tendo passado por algumas transformações, sendo dominado por carboidratos de origem vegetal, principalmente celulose. A FLL tende a ser a mais disponível para a microbiota dentre as frações densimétricas (Golchin et al., 1994a), pois, o único mecanismo de estabilização atuante é a recalcitrância do material constituinte dessa fração (Sollins et al., 1996). A FLL é um compartimento importante da MOS, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e formação de macroagregados (Tisdall e Oades, 1982; Conteh e Blair, 1998).

A FLO compreende um diversificado conjunto de compostos orgânicos, incluindo resíduos de plantas, peletes fecais, pêlos radiculares e estruturas fúngicas com um tamanho

reduzido e um grau de decomposição e humificação mais avançado em comparação a FLL (Golchin, et al., 1994a; Christensen, 2000, 2001; Pillon, 2000; Freixo et al., 2002). Esse material é dito intraagregado devido a sua oclusão no agregado, ocorrendo interações fracas de superfície. Os mecanismos dominantes para proteção dessas estruturas são a recalcitrância molecular e, principalmente, a oclusão ou proteção física por agregados (Sollins et al., 1996). Por sua vez, a FP é constituída por materiais orgânicos em estágios avançados de decomposição, não identificáveis visualmente, fortemente ligados à fração mineral, constituindo os complexos organo-minerais primários (Christensen, 1996). Predominam compostos orgânicos de elevada recalcitrância como remanescentes de cutina e suberina, assim como materiais resistentes sintetizados pela microbiota durante o processo de decomposição (Baldock et al., 1992). É considerada a mais estável das frações densimétricas, sendo caracterizada por uma baixa taxa de ciclagem, pois todos os processos de proteção da MOS (recalcitrância molecular, oclusão e proteção coloidal) estão envolvidos na sua estabilização (Christensen, 2000).

Em estudo desenvolvido por Pillon et al. (2011) foi avaliada a concentração de COT na fração FLL da MOS sob eucalipto após 13 e 20 anos de implantação, comparando com uma área de mata nativa e um sistema com produção de pastagem. Os autores encontraram maiores teores de COT na FLL na área de mata (em superfície), com destaque para a área de pastagem em profundidade. Ainda segundo os autores, a concentração de COT na FLL foi influenciada pelo sistema de uso na camada de 0,05 a 0,10m, demonstrando a contribuição do sistema radicular das espécies gramíneas nestes sistemas em subsuperfície e ou redistribuição da MOS das camadas superficiais para camadas mais profundas. Nos sistemas agrícolas que possuem maiores teores de COT na fração leve livre da MOS podem-se verificar melhorias nos atributos edáficos. Entre estes, para os atributos físicos do solo, Conceição (2006) observou uma correlação direta e positiva entre o teor de COT na fração leve e o diâmetro médio ponderado dos agregados.

Por ser sensível às práticas de manejo, a determinação da FLL é importante na avaliação da qualidade do sistema de manejo em curto prazo (Gregorich et al., 2006; Jinbo et al., 2007; Rangel e Silva, 2007). Avaliando os teores da FLL em quatro sistemas agroflorestais e em preparo convencional do solo, Maia et al. (2008) constataram que as principais alterações na FLL ocorreram na camada superficial e nos sistemas que promoveram maior movimentação do solo.

No fracionamento granulométrico (Cambardella e Elliott, 1992) a matéria orgânica particulada (MOP) ou carbono orgânico particulado (COp) é separada em peneira de 53 µm (fração tamanho areia), não sendo possível a diferenciação entre MOP livre e MOP oclusa do solo. O que fica retido na peneira é a MOP e o que passa é denominado de matéria orgânica associada aos minerais (MOM) ou carbono orgânico associado aos minerais (COam), que corresponde à fração orgânica associada às frações silte e argila do solo. A combinação dos dois métodos físicos de fracionamento da MOS (densimétrico e granulométrico), permite a obtenção de compartimentos protegidos por ação de micro e macroagregados (Six et al., 1998, 2000; Gale et al., 2000a; Sohi et al., 2001), o que não é possível pelo uso de cada método de forma isolada (Roscoe e Machado, 2002).

Em relação ao fracionamento granulométrico, trabalhos recentes na literatura, relatam que a MOP ou COp é uma fração eficiente em identificar mudanças provenientes de práticas de manejo ou da substituição de áreas naturais (florestas, pastagens) por cultivos (Loss et al., 2009b; Rossi, 2009; Figueiredo, 2009; Conceição et al., 2005). Em trabalho desenvolvido por Figueiredo et al. (2010), quantificando formas lábeis e estáveis da MOS em áreas de SPD, preparo convencional e uma área de Cerrado (GO) como referência, verificaram que as principais modificações decorrentes da substituição da vegetação de Cerrado por lavouras ocorreram na fração particulada (COp) e, que entre os sistemas de cultivo avaliados, o SPD,

para as condições edafoclimáticas do Cerrado, promoveu uma distribuição mais uniforme do C_{Op} no perfil do solo. Ainda segundo Figueiredo et al. (2010), há uma correlação negativa entre C_{Op} e C_{Oam}, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. Ou seja, para que se tenha maiores teores de C_{Oam} no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de C_{Op} para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos silte e argila.

2.4.3 Fracionamento oxidável do carbono orgânico do solo

Com o objetivo de avaliar diferentes frações de oxidação do carbono do solo, Chan et al. (2001) introduziram uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley e Black (1934). No método original, o C era determinado pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L⁻¹) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), foi possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico, sendo denominadas de frações F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de ácido sulfúrico.

As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo (Loss et al., 2009a; Barreto et al., 2010) e altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (Maia et al., 2007). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas aos compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994; Rangel et al., 2008). A fração F4 é a mais resistente no solo, sendo denominada de “compartimento passivo” nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (Chan et al., 2001).

Avaliando as frações oxidáveis de carbono orgânico de Latossolo cultivado com café em MG, Rangel et al. (2008) encontraram maiores proporções do C_{OT} nas frações F1 e F2. Os autores atribuíram estas maiores proporções principalmente ao aporte e decomposição dos resíduos vegetais e culturais do café.

Em estudo desenvolvido no Maranhão, com sistema de aléias formado por leguminosas de alta (leucena e guandu) e baixa (sombreiro e acácia) qualidade de resíduos vegetais (relação C/N), Loss et al. (2009a) compararam o aporte de matéria orgânica facilmente oxidável proveniente da combinação de resíduos dessas leguminosas utilizadas em sistemas de condução de culturas em aléias. Os autores verificaram que o tratamento acácia/guandu ofereceu maiores aportes de matéria orgânica facilmente decomponível (fração F1), enquanto o tratamento leucena/guandu propiciou maiores aportes de matéria orgânica mais resistente (fração F3 e F4).

2.5 Agregação do Solo

A ligação entre a atividade biológica do solo, a decomposição e estabilização da MOS, e a dinâmica da agregação do solo já foi reconhecida e é intensivamente estudada desde o ano de 1900 (Six et al., 2004; Rilling and Mummey, 2006). Segundo Amézqueta (1999), a agregação do solo é o processo pelo qual agregados de diferentes tamanhos se agrupam e permanecem coesos em resultado da ação de diferentes agentes inorgânicos e orgânicos. A agregação do solo é influenciada principalmente por cinco fatores: fauna do solo; microorganismos do solo; raízes; agentes inorgânicos e variáveis ambientais. Na Figura 1, observa-se a multiplicidade de interações entre estes cinco principais fatores que influenciam a formação e estabilização dos agregados (Bronick e Lal, 2005; Six et al., 2004; Rilling and Mummey, 2006).

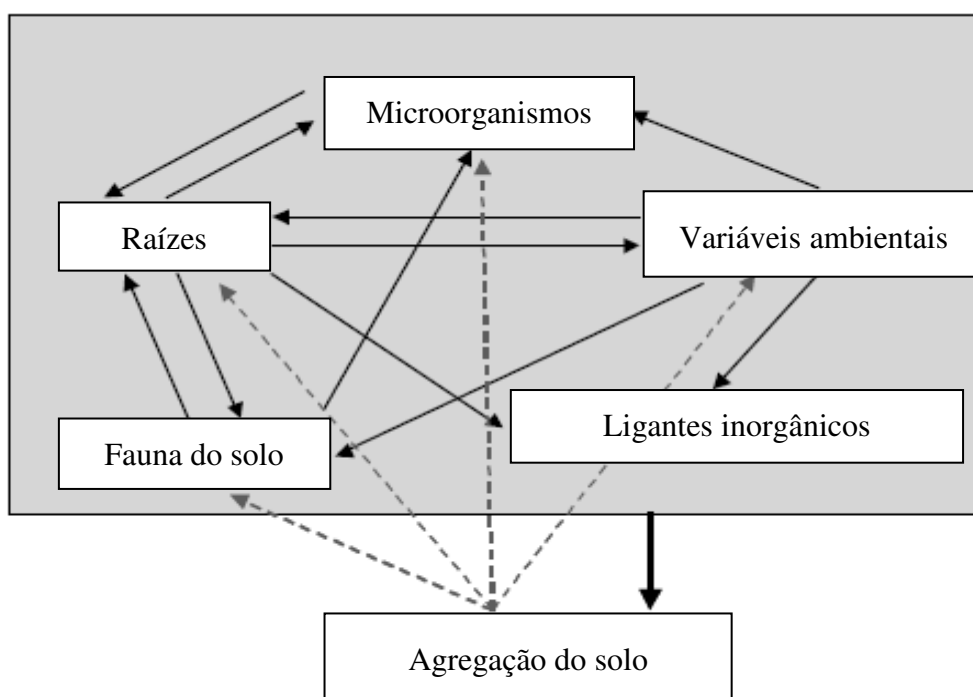


Figura 1. A multiplicidade de interações e retorno entre os cinco principais fatores que influenciam a formação e estabilização dos agregados. Fonte: Six et al. (2004).

A fauna do solo em especial as minhocas influenciam os agregados do solo por meio da escavação e formação de galerias (Brown, 2000). Esses organismos aumentam a estabilidade de micro e macroagregados por meio de três mecanismos: colagem mecânica por agrupamentos vasculares das plantas e/ou solo ingeridos; crescimento fúngico após a excreção nas galerias e, proliferação, no intestino, de microagregados provenientes dos materiais vegetais (Brown, 2000).

Quanto aos microorganismos no solo, as hifas externas exercem a maior influência na quantidade de macroagregados (Jastrow et al., 1998). Em solos argilosos e ricos em óxidos, as bactérias e os fungos desempenham importante papel na agregação, ao produzir polissacarídeos e outros colantes (Denef e Six, 2003). Quando o pH é baixo, os fungos são os principais microorganismos decompositores de MOS (Thurman, 1985). As micorrizas e os fungos saprofíticos são os microorganismos de maior relevância na formação e estabilização dos agregados, podendo, no entanto, as bactérias também exercerem significativa influência na agregação, especialmente em micro-escala (Six et al., 2004; Szakas, 2007)

As raízes estabilizam os agregados ao exudarem certos materiais, em especial mucilagens (secreção rica em polissacarídeos). As mucilagens produzidas pelas raízes promovem diretamente a cimentação das partículas do solo. O grau de influência do processo de exudação das raízes na estrutura do solo varia de acordo com a produção e composição da mucilagem, os quais são determinados pelo regime hídrico (influência aumenta com baixa umidade no solo); pelas espécies de plantas (gramíneas e leguminosas), o fator tempo (influência diminui ao longo do tempo) e profundidade do solo (influência diminui com a profundidade) (Szakas, 2007).

Os óxidos (ferro e alumínio) são os agentes cimentantes dominantes em solos oxídicos (Lamar e Bresson, 1989). O efeito agregador dos óxidos foi notado principalmente ao nível dos microagregados (Igwe et al.; 1999), sendo também a macroagregação relacionada ao conteúdo de óxidos (Imhoff et al., 2002). Os óxidos podem atuar como agentes cimentantes de três maneiras: materiais orgânicos são adsorvidos na superfície de óxidos (Oades et al.,

1989); ocorrência de ligação eletrostática entre óxidos com cargas positivas e minerais de argila com cargas negativas (El-Swaify e Emerson, 1975); a camada de óxidos na superfície dos minerais forma pontes entre as partículas primárias e secundárias, sendo responsável pela maior estabilidade de macroagregados em solos ricos em óxidos (Muggler et al., 1999).

O tipo de agregação tem importante papel na proteção da MOS, ou seja, no seqüestro de COT (Ligo, 2003). Outros agentes inorgânicos de agregação são as partículas da fração silte e argila, as quais podem se unir ou adsorver partículas de areia e a matéria orgânica. Esta é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo, sendo responsável pela formação e estabilização de macroagregados e, conseqüentemente, maior preservação da MOS nesses agregados, em sistemas conservacionistas. Em contraste, a MOS é mineralizada em maior grau sob cultivo convencional (Beare et al., 1994). A importância relativa de cada um dos componentes no processo de agregação depende da sua abundância no solo, a qual se torna condicionada pelo tipo de solo e pelo uso no qual é submetido (Barral et al., 1998). A interação de MOS com minerais de carga variável contribui para preservar a estocagem de carbono, aprimorando o potencial de solos tropicais e subtropicais atuarem como sumidouro do CO₂ atmosférico (Bayer et al., 2001).

O aumento da matéria orgânica é parcialmente determinado pelo vínculo entre a reciclagem de macroagregados, a formação de microagregados e a estabilização de carbono dentro dos microagregados (Six et al., 2000). A relação entre a proteção física da MOS e a reciclagem de macroagregados depende das condições da MOS. No que se refere à MOS estabilizada, quanto mais lenta a reciclagem de macroagregados, maior é o nível de proteção. A entrada de resíduos vegetais estimula a reciclagem de macroagregados e diminui o tempo necessário para a formação de microagregados (Plante e McGill, 2002).

Dentro dos macroagregados ocorre a formação de microagregados, que são importantes para a estabilização do carbono ao longo do tempo nos solos tropicais (especialmente no que se refere à fração mineral desses microagregados) (Denef et al., 2007). A agregação do solo resulta de um arranjo das partículas, decorrente de processos de floculação e cimentação (Dulker et al., 2003). Com relação ao tamanho, os agregados podem ser divididos em macroagregados (>250 µm) e microagregados (<250 µm) (Tisdall e Oades, 1982). Os macroagregados são menos estáveis que os microagregados e, portanto, mais susceptíveis à quebra em conseqüência do cultivo do solo. A divisão dos agregados em classes de tamanho está baseada em propriedades tais como ligantes e relação carbono/nitrogênio (C/N) no solo (Bronick e Lal, 2005).

Além disso, três tipos de agentes cimentantes atuam na agregação do solo: a) agentes transitórios - compostos de polissacarídeos derivados de tecido microbiano e vegetal, facilmente decomposto pela população microbiana; b) agentes temporários - compostos de raízes e hifas, principalmente micorrizas; c) agentes persistentes - compostos de materiais húmicos em associação com compostos amorfos de Fe e Al e metais catiônicos polivalentes. Os metais agem como ponte entre argila-matéria orgânica e entre matéria orgânica-matéria orgânica (Edwards e Brenner, 1967).

Vários estudos verificaram um aumento na respiração do solo após a ruptura dos agregados, sugerindo que os agregados têm a função de proteger a matéria orgânica fisicamente contra o ataque microbiano. A degradação dos agentes ligantes dentro dos macroagregados suscita a perda da estabilidade do macroagregado e a liberação de microagregados estáveis pela quebra do macroagregado em vários microagregados (Guggenberger et al., 1994).

Portanto, a abundância de macroagregados sugere maior proteção do carbono contra a decomposição microbiana. Assim, a relação de macroagregados versus microagregados pode ser usada como medida relativa da decomposição de macroagregados, ou seja, da estabilidade de agregados (Six et al., 2000). Assim, por exemplo, em áreas de canaviais com colheita

mecanizada, é esperado o aumento do número de macroagregados devido à maior entrada de matéria orgânica (matéria prima da agregação no solo) (Szakas, 2007).

Porém, apesar do progresso durante os últimos 50 anos no conhecimento sobre a agregação do solo, uma revisão revela que poucos estudos são quantitativos e/ou consideram efeitos interativos entre os cinco fatores (Figura 1). A quantificação destas interações é claramente necessária para melhorar a habilidade de prever mudanças no ecossistema solo devido ao manejo agrícola e às mudanças climáticas (Six et al., 2004; Rilling and Mummey, 2006).

O conceito de estrutura do solo é determinado pelo tamanho, forma e arranjo dos agregados e dos espaços vazios contidos entre eles. Fisicamente, a estrutura formada pelos agregados protege a matéria orgânica do solo (MOS) contida dentro destes contra a decomposição microbiana. Desta maneira, a estrutura do solo pode agir como controladora da formação e da degradação da MOS, tendo assim, uma relação direta com a dinâmica de nutrientes e com o potencial do solo em acumular carbono (Zotarelli, 2005).

A agregação do solo é influenciada pelos cinco fatores propostos na Figura 1, sendo destacado o sistema de cultivo (raízes) usado, pois está diretamente relacionado à quantidade de C e de N nas diferentes classes de agregados do solo (Salton et al., 2008; Kasper et al., 2009) e na associação com fungos micorrízicos arbusculares, sendo que a partir da decomposição do micélio tem-se a glomalina, que atua com um forte agente cimentante (Rilling and Mummey, 2006).

2.6 Origem do Carbono e Nitrogênio do Solo por Meio de Isótopos Estáveis

O método isotópico tem contribuído nos estudos referentes aos ciclos do carbono e nitrogênio da MOS, sendo muito utilizado o método baseado na abundância natural de ^{13}C e ^{15}N da MOS. Por abundância natural ou relativa entende-se a porcentagem de um isótopo em relação aos demais do mesmo elemento que ocorrem naturalmente (Boareto et al., 2004). A variação da concentração de ^{13}C na natureza é cerca de $\pm 30\%$, sendo que a principal causa dessa variação é a fotossíntese. Para o CO_2 do ar atmosférico o valor de $\delta^{13}\text{C}$ é de -8% em relação ao padrão internacional (PDB), e em relação o carbono fixado por plantas do ciclo fotossintético C_3 e C_4 , os valores médios estão ao redor de -28% e -12% , respectivamente (Matsui, 1981). Maiores valores de ^{13}C indicam menor discriminação contra o ^{13}C devido a menores valores de CO_2 intercelular e maior eficiência no uso de água (Farquhar et al., 1982; Buchmann e Kaplan, 2001). Para o nitrogênio, a variação da concentração de ^{15}N oriundo de fontes naturais, tendo como padrão o ^{15}N do ar ($0,3663\%$), está entre -10 a $+10\%$, sendo estas variações atribuídas aos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, a associações com microorganismos, a diferentes fontes de N utilizadas na agricultura e a demanda de N pelas plantas (Hogberg, 1997).

Estudos de composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e folhas são importantes para identificar diferenças nos processos de ciclagem biogeoquímica em ecossistemas (Parron et al., 2004). A ciclagem de carbono e de nitrogênio é um processo ecológico fundamental e tem ganhado importância devido ao interesse na dinâmica dos estoques desses elementos, seus impactos nos ecossistemas e a contribuição dos fluxos de gases, como CO , CO_2 , NO e N_2O para o aquecimento global. Os ciclos de C e N têm sido estudados utilizando técnicas de espectrometria de massa, pela medida da abundância natural dos isótopos estáveis raros em relação ao isótopo mais abundante (^{13}C e ^{12}C e, ^{15}N e ^{14}N) (Griffiths et al., 1999).

A técnica isotópica tem sido usada para examinar a ciclagem da MOS em médio prazo em agricultura tropical onde floresta (ciclo fotossintético C_3) tem sido trocada por culturas de ciclo C_4 , como cana-de-açúcar e muitas gramíneas tropicais (Bonde et al., 1992). Em regiões temperadas, a maioria dos solos agrícolas tem recebido a entrada de material orgânico C_3 e,

essa técnica tem sido utilizada para examinar a dinâmica da biomassa e das frações físicas da MOS após a introdução de espécies C₄ (Balesdent et al., 1987). Essa técnica também tem sido muito utilizada em solos de clima tropical (Sisti et al., 2004; Jantalia, 2005; Bustamante et al., 2004; Jantalia et al., 2007; Pinheiro, 2007).

Segundo Szakács (2007) avaliando os estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil, verificou que houve uma diferença significativa de ¹³C entre os macroagregados e microagregados na camada superior, com 10% mais ¹³C nos macroagregados. Isto indica mais carbono derivado da cobertura vegetal atual (C₄), ou seja, mais incorporação da palhada nos macroagregados. O ¹³C da fração de partículas livres ou agregados não estáveis em água de fluxo contínuo é menor em todas as profundidades, indicando que a matéria orgânica recente (C₄) encontra-se no solo principalmente de forma agregada estável em água, evidenciando seu papel fundamental na estabilidade dos agregados.

As aplicações do método de traçador com o isótopo estável ¹⁵N permitem avaliar as transformações individuais do N no solo, fornecendo informações acerca do sistema e estimando as taxas de transformação do N (Boareto et al., 2004). Como a MOS é grande reservatório de nitrogênio, medidas de ¹⁵N contribuem para compreender a dinâmica da vegetação. Estudos de Bustamante et al. (2004) no Cerrado (Centro-Oeste) indicaram que os horizontes minerais têm maiores valores de ¹⁵N do que horizontes orgânicos; e este padrão permite inferir que solos de uma mesma área que apresentam variações em ¹⁵N podem indicar modificações na vegetação. Estas variações também são associadas a medidas de ¹³C.

Em recente estudo sobre a identificação de mudanças florestais por ¹³C e ¹⁵N em solos da Chapada do Araripe, Ceará, Mendonça et al. (2010) relataram que os teores de MOS encontrados são uma ferramenta auxiliar utilizada na identificação de uma vegetação remota. Estes autores mediram o ¹³C e ¹⁵N da MOS e avaliaram a variabilidade natural do ¹³C e ¹⁵N em solo de Cerrado e Caatinga. Por meio do estudo, concluiu-se que os solos das áreas (Cerrado e Caatinga) possuem hoje MOS na superfície com sinal de ¹³C tipo C₃ (vegetação atual), e em profundidade, verificaram uma mistura C₃-C₄, o que indicou que no passado ocorreram mudanças (de clima ou por uso agrícola). Por meio do ¹⁵N, os autores observaram que o solo da Caatinga é mais mineralizado, ou seja, tem maiores valores de ¹⁵N e, conseqüentemente, menores teores de MOS.

2.7 Atividade Microbiana: Evolução de C-CO₂ (Carbono Mineralizável) em Agregados Incubados em Laboratório

A menor produção de compostos transitórios pelas plantas ou microorganismos, devido à redução de materiais orgânicos prontamente decomponíveis, diminui a estabilidade dos macroagregados (Jastrow et al., 1996; 1998; Six et al., 1998). A quebra dos macroagregados do solo libera matéria orgânica lábil, aumentando sua disponibilidade aos microorganismos e suas enzimas (Hassink, 1997). Isso acarreta em maior atividade microbiana resultando em aceleração da decomposição da MOS, com incorporação parcial do C presente em estruturas orgânicas dos microorganismos, sendo a maior parte liberada na forma de C-CO₂ (Baldock et al., 1992).

Uma das formas de quantificar o compartimento lábil é a determinação do C mineralizável que se origina da quebra das moléculas orgânicas pela degradação dos substratos incorporados ao solo, convertido em energia e biomassa pelo processo da respiração (Rosa et al., 2003). O carbono mineralizável é quantificado a partir da evolução de CO₂ (Zibilske, 1994; Mendonça e Silva, 2005), que reflete a atividade microbiana na decomposição da MOS (Hassink et al., 1993; Bossuyt et al., 2002).

Em estudo sobre formas de carbono de agregados de Latossolo Vermelho em área de plantio direto no Cerrado (GO), Rosa et al. (2003) verificaram na área de Cerrado (floresta

nativa de Cerradão) os maiores valores de C mineralizável (C-CO₂), sobretudo até 30 cm de profundidade, tanto para agregados maiores quanto para menores que 250 mm. Os autores supracitados relataram que as condições de temperatura interna, umidade e aeração, possibilitadas por menores oscilações dessas variáveis no solo sob Cerradão, favoreceram a população microbiana quando comparadas com as áreas de plantio direto.

Aspectos importantes na evolução dos teores de carbono potencialmente mineralizável estão relacionados ao histórico de manejo do solo. Dentre estes, destacam-se a retirada de resíduos culturais, a adição de biomassa facilmente decomponível e a silagem acompanhada de adubações pesadas de nitrogênio, que podem induzir um efeito ativador, conhecido como efeito *priming* (Buso e Klienman, 2003). O efeito ativador, definido como a rápida mudança dos teores de carbono orgânico e/ou nitrogênio total dos solos, pode ser positivo (mineralização de C e N) pela adição de materiais de baixa relação C/N e/ou fertilizantes nitrogenados minerais, ou negativo (imobilização líquida) pela adição de materiais de alta relação C/N. Em revisão sobre o assunto, Kuzyakov et al. (2000) citam a adubação com nitrogênio mineral, a adição de substâncias orgânicas facilmente decomponíveis, a rizodeposição de plantas e outros sais, como as possíveis causas do efeito ativador positivo. Entretanto, as mesmas práticas podem causar efeito ativador negativo, para valores de relações C/N maiores que 16 e adição de substâncias tóxicas ao solo.

Avaliando o carbono prontamente mineralizável em agregados de um Latossolo Vermelho sob SPD e sistema convencional no Cerrado (DF), Mendes et al. (2003) encontraram valores de 180, 153 e 92 mg kg de C nos macroagregados (8,00-2,00 mm) após 17 dias de incubação em laboratório, respectivamente para SPD, sistema convencional e a condição original do solo (Cerrado). Os autores atribuíram essas diferenças devido ao material rico em compostos orgânicos simples e, portanto, facilmente mineralizáveis, presentes nos macroagregados da área de Cerrado natural, o que acarreta em aumento da atividade microbiana determinada pela liberação de C-CO₂. Já entre as áreas de plantio direto e preparo convencional, o maior revolvimento do solo ocasionou em maiores perdas do carbono (oxidação) na área de preparo convencional quando comparada com a área de plantio direto.

Com relação à atividade dos microrganismos que atuam na mineralização da MOS, medida pelo C-CO₂ liberado, Passos et al. (2007b) mediram esta atividade em agregados de solo sob Cerradão e sob cultivo de milho por 30 anos. Os autores encontraram maiores valores na área de Cerradão, comparativamente ao solo sob cultivo com milho. Eles atribuíram esse resultado a presença de maior quantidade de substâncias orgânicas mais lábeis na área de Cerradão, como os carboidratos, que podem acarretar em incrementos na atividade microbiana nos agregados do solo sob Cerradão, visto que o solo na área de milho apresentou maior disponibilidade de fósforo e potássio.

3 CAPÍTULO I:

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MINERALÓGICA E FERTILIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) quando associado à utilização da braquiária junto à rotação de culturas e o pastejo de animais (Integração Lavoura-Pecuária – ILP) pode contribuir para o aumento da fertilidade do solo e para os estoques de nutrientes. Este trabalho teve como objetivos avaliar a densidade do solo, a caracterização mineralógica e a fertilidade do solo em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de terra nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm e também até 100 cm de profundidade, em delineamento inteiramente casualizado. Nas amostras coletadas até 100 cm foram avaliadas a composição granulométrica, mineralógica (ataque sulfúrico e formas de ferro) e a densidade do solo (Ds). Os teores de Ca, Mg, K, N, P e Al e valores de pH em água foram quantificados nas amostras coletadas até 40 cm. Nos três sistemas avaliados, até 100 cm de profundidade, a textura do solo apresentou-se como muito argilosa. A área de Cerradão apresentou os menores valores de Ds (0,69 a 1,22 Mg m⁻³, respectivamente para 0-5 e 80-100 cm). Entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP apresentou os menores valores de Ds até a profundidade de 10 cm, com valores de 0,89 e 0,97 Mg m⁻³ e, na área de SPD, valores de 0,94 e 1,06 Mg m⁻³, respectivamente para 0-5 e 5-10 cm. Para a relação Feo/Fed verificaram-se valores menores que 0,07 nos três sistemas avaliados, com diminuição da relação Feo/Fed entre os horizontes A (0-10 cm) e B (40-60 cm) nas áreas cultivadas. Na área de Cerradão, um padrão contrário a este foi verificado, com aumento da relação Feo/Fed em profundidade. Para o índice de intemperismo k_i (S_iO_2/Al_2O_3), na área de Cerradão verificou-se, para o horizonte B, valor de k_i igual a 0,77 e, nas áreas cultivadas, 1,27 e 1,45, respectivamente para SPD e ILP. Para a fertilidade do solo, a área de Cerradão apresentou os menores teores e estoques de nutrientes, exceto para o N. Entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP apresentou maiores teores e estoques de nutrientes que a área de SPD. A remoção da cobertura original de Cerradão acarretou em aumento dos valores de Ds nas áreas cultivadas. Para este estudo, em função do número de animais utilizados no sistema de ILP não foram constatados aumentos dos valores de Ds em comparação à área sem o pisoteio animal (SPD). Com base nos valores de k_i , na área de Cerradão há o predomínio de gibbsita e para as áreas cultivadas, predomina a caulinita. As áreas cultivadas apresentaram maiores teores e estoques de nutrientes em todas as profundidades avaliadas, com exceção para o N, quando comparadas com a área de Cerradão. O sistema de ILP, associado às adubações realizadas nas culturas e na braquiária, acarretou maiores teores de fertilidade do solo e estoques de nutrientes quando comparado com a área de SPD.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária. Ciclagem de nutrientes. Densidade do solo.

ABSTRACT

No-Tillage System (NTS) when associated with planting of brachiaria in a crop rotation and animal grazing (Integration Agriculture and Cattle-Raising System - IACRS) may increase soil fertility and nutrient storage. This study aimed to evaluate bulk density, soil mineralogy and soil fertility in areas with different land management systems in Cerrado region, Goias State. There were evaluated two areas with crop rotation: IACRS (brachiaria + corn / bean / cotton / soybean) and NTS (sunflower / millet / soy / corn). A natural area of Cerrado was taken as the reference for soil condition. Soil was sampled at depths of 0.0 to 5.0, 5.0 to 10.0, 10.0 to 20.0 and 20.0 to 40.0 cm, and also up to 100 cm depth, in a randomized design. In soil samples taken up to 100 cm depth, the particle size, mineralogy (iron forms extracted with sulfuric acid) and bulk density (BD) properties were evaluated. In soil samples up to 40 cm depth, levels of Ca, Mg, K, N, P and Al, and pH in water were measured. In the three systems evaluated, up to 100 cm depth, soil texture was of very fine clay. The Cerrado area showed the lowest values of BD (0.69 to 1.22 Mg m^{-3} , respectively for 0 to 5, and 80 to 100 cm depth). Among the cultivated areas, the IACRS system showed the lowest BD values at 10 cm depth, 0.89 and 0.97 Mg m^{-3} , and the NTS area showed values of 0.94 and 1.06 Mg m^{-3} , respectively for 0 to 5 and 5 to 10 cm. The Feo/Fed ratio showed values less than 0.07 were found in the three systems, with a decrease in the Feo/Fed ratio from A horizons (0 to 10 cm) to B (40 to 60 cm), in cultivated areas. In Cerrado area the opposite was verified, with increase in the ratio Feo/Fed with depth. For the weathering index k_i ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), in the B horizon of the soil in Cerrado area, the k_i value was of 0.77 ; in the cultivated areas k_i was 1.27 and 1.45 , respectively for the NTS and IACRS. For soil fertility, the Cerrado area had the lowest levels and nutrient stocks, except for N. Among cultivated areas, the IACRS had higher nutrient levels and stocks than the NTS area. The removal of original Cerrado vegetation resulted in high values of BD in the cultivated areas. For this study, due to the number of animals in the IACRS, there were not increased values of BD, when compared to the area without cattle trampling (NTS). From the k_i values, it is considered that soil in the Cerrado area has dominance of gibbsite in the clay fraction, and of kaolinite in cultivated areas. The cultivated areas had higher levels of nutrients and stocks at all depths evaluated, except for N, compared with Cerrado area. The IACRS, associated with fertilization during crop production, and brachiaria planting, resulted in higher levels of soil fertility and nutrient stocks compared with the NTS area.

Key words: Integration agriculture and cattle-raising system. Nutrient cycling. Bulk density.

3.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior Bioma brasileiro, menor apenas que o Bioma Amazônia. Originalmente ocupava área entorno de 2.100.000 km², sendo deste total mais de 900.000 km² já desmatados (Bustamante et al., 2006; IBGE, 2010). Em menos de três décadas, o Cerrado transformou-se na principal área de produção agrícola do país, sendo hoje uma das maiores áreas cultivadas do mundo (Siqueira Neto et al., 2009). Os solos, na maioria, são ácidos, têm baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e alta saturação por alumínio (Lopes e Cox, 1977; Ker, 1995; 1997). Essas características são válidas principalmente para os Latossolos que representam 45% da área total (Ker, 1997; Reatto e Martins, 2005). A baixa CTC se deve ao predomínio de argilas de baixa atividade, como a caulinita, e ao baixo teor de C orgânico (Souza e Lobato, 2004). A acidez decorre do alto grau de intemperismo dos solos, aonde, principalmente os agentes químicos e biológicos do intemperismo, vêm atuando a milhares de anos, consequentemente, com perda de bases trocáveis (Vendrame, 2008).

Com práticas de calagem e adubação, grande parte dos solos do Cerrado pode ser cultivada. No entanto, o monocultivo e outras práticas inadequadas têm causado perda de produtividade e degradação do solo, com diminuição dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), e consequente redução da fertilidade e aumento da erosão (Bernoux et al., 2004).

O sistema plantio direto (SPD) e a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) destacam-se como formas de manejo de produção agrícola que contribuem para o aumento de carbono e estoques de nutrientes no solo, principalmente quando associados à rotação de culturas anuais. Segundo Alvarenga et al. (2006), a ILP representa a diversificação, rotação, consorciação ou sucessão das atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural, de forma harmônica, constituindo um mesmo sistema, de tal maneira que há benefícios para ambas. A utilização da ILP associada ao SPD pode acarretar em aumentos dos teores de MOS e, consequentemente, de melhoria da fertilidade do solo e estoques de nutrientes.

Entretanto, deve-se atentar para os efeitos do sistema de ILP nas propriedades físicas do solo, destacando a densidade do solo (Ds). Segundo Marchão et al. (2007), estudando as propriedades físicas de Latossolo Vermelho no Cerrado, após quatro anos da fase pastagem, a compactação resultante do pisoteio animal nos sistemas de ILP não atingiu valores críticos, que pudessem limitar cultivos anuais subsequentes. Apesar de alguns trabalhos relatarem que o pastejo adequado na ILP influencia nas propriedades físicas do solo, mas não causam perdas no rendimento agrícola das culturas subsequentes, essas pesquisas ainda são poucas e recentes para o Cerrado brasileiro (Silva et al., 2011). Avaliando diferentes formas de manejo do solo no Cerrado, Souza et al. (2009) concluíram que a ILP reduz a porosidade total e aumenta a Ds, destacando, entretanto, a necessidade de continuar os estudos a fim de descrever as variações das propriedades físicas ao longo de vários anos de cultivo. Avaliações por período de tempo maior são necessárias para verificar se essa tendência é real (Silva et al., 2011).

A conversão de lavouras em SPD para sistemas de ILP pode resultar em aumentos nos teores de nutrientes do solo, principalmente pelo fato deste sistema integrado de uso da terra elevar a MOS. Por outro lado, o cultivo mais intensivo do solo pode levar a maior extração de nutrientes nas áreas sob ILP. Contudo, existem poucos estudos conclusivos sobre mudanças nos atributos edáficos, com destaque para a Ds e a fertilidade do solo, após a implantação destes sistemas de ILP (Carvalho, 2007; 2009; Marchão et al., 2007, Loss et al., 2011a).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a densidade do solo, a mineralogia e a fertilidade do solo, com posterior quantificação dos estoques de nutrientes em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu, GO (Figura 2).

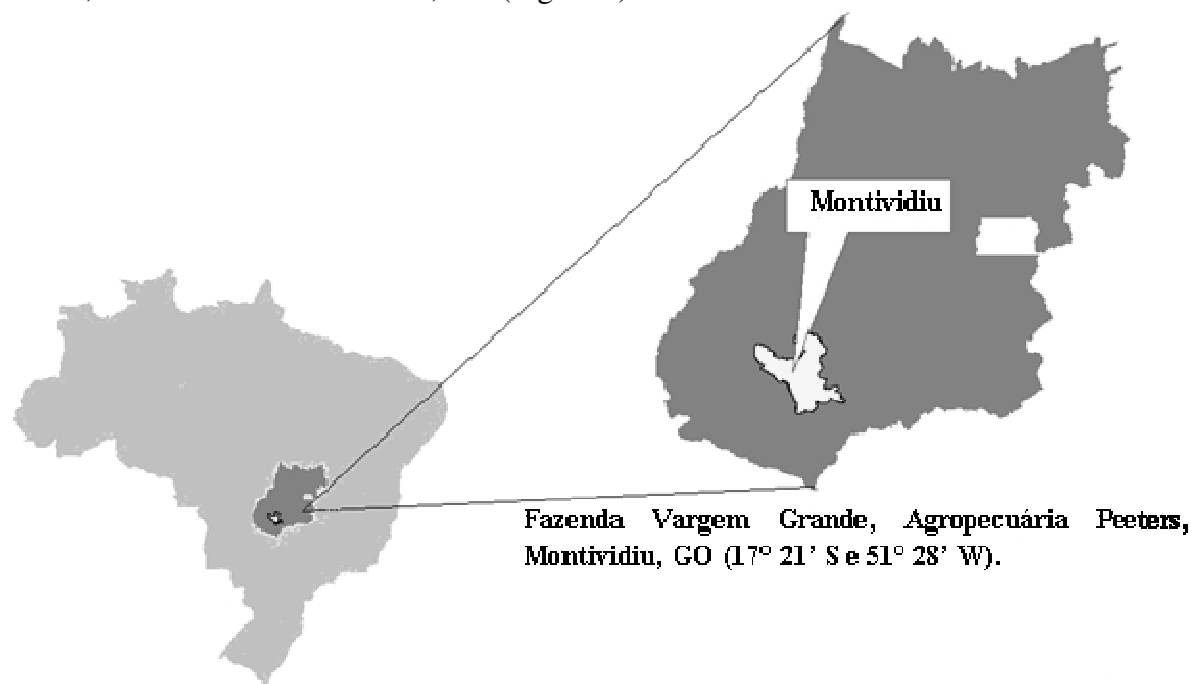


Figura 2. Localização da Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Os valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura desde o ano de 1997 a 2010 encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura desde 1997 a 2010.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Ppt	240	232	276	90	38	26	11	14	43	129	247	272	1539
Tma	29,3	30,0	30,2	29,7	28,2	28,5	29,0	31,1	32,8	31,7	30,4	29,8	30,1
Tmi	19,8	19,3	19,4	19,0	15,7	14,9	14,5	15,1	17,9	19,2	19,2	19,3	17,8

Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde (17° 48'S; 50° 55'W, Rio Verde, GO). Ppt=precipitação; Tma=temperatura média máxima; Tmi=temperatura média mínima.

O clima da região (Figura 3) se caracteriza por duas estações bem definidas: uma seca (de maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). Para o ano agrícola de 2008 (época das coletadas das amostras de terra para o estudo), os valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura são ilustrados na Figura 3.

O solo nas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico com textura muito argilosa (Embrapa, 2006). Na composição mineralógica da fração argila predomina a gibbsita, caulinita e a hematita (Siqueira Neto, 2006).

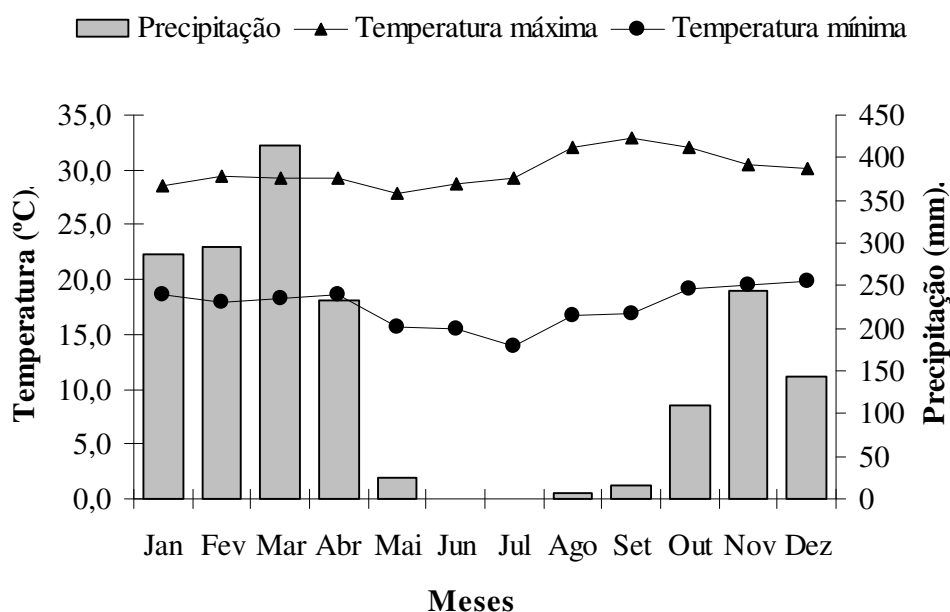


Figura 3. Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura no ano de 2008. Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde (17° 48'S; 50° 55'W, Rio Verde, GO).

3.2.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A cobertura vegetal original da área é o Cerradão, retirado em 1975 para implantar pastagens (*Urochloa decumbens*), uso contínuo da área por 10 anos, até 1985 (Figura 4).

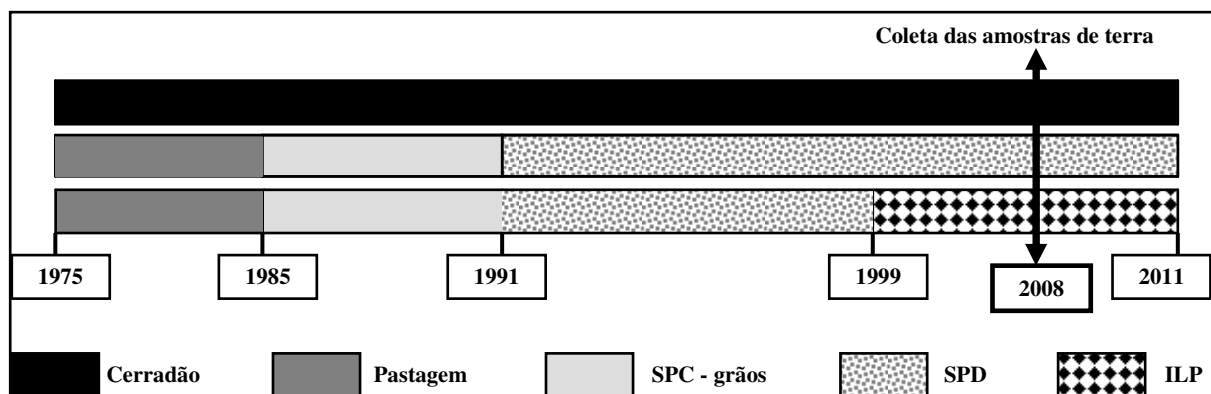
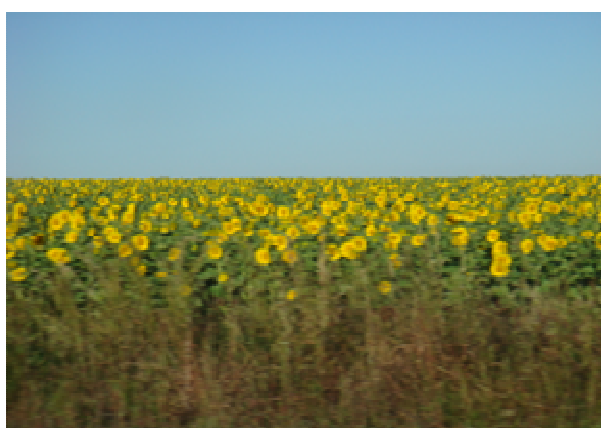


Figura 4. Histórico dos usos e processos de mudança do uso da terra, com as respectivas datas de implantação, na Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Em seguida, as áreas foram manejadas por meio de aração e gradagem (sistema de preparo convencional) até o ano de 1991 (7 anos) para o cultivo de grãos (milho, feijão, soja e girassol). Posteriormente, foi implantado o Sistema de Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas – milho, soja, algodão, feijão - (1991 a 2008) e, a partir de 1999, parte do SPD foi transformado em Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (1999 a 2008). Portanto, as áreas avaliadas vêm sendo conduzidas em SPD com as mesmas rotações de culturas, sendo SPD somente (1991 a 2008) e ILP (1999 a 2008) (Figura 4).

Os sistemas avaliados consistiram de duas áreas cultivadas em SPD por 17 anos: uma somente com rotação de culturas (girassol-milheto-soja-milho) (Figura 5), nas coordenadas

17°21.120'S; 51°29.461'W e altitude 958 m; e outra com braquiária (*U. ruziziensis*) em consórcio ao milho safrinha¹, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano (milho-braquiária-feijão-algodão-soja) (Figura 6), de coordenadas 17°21.854'S; 51°28.599'W e altitude 859 m. Nesta área foi utilizado o sistema de ILP, com o milho e a braquiária semeados simultaneamente. Após a colheita do milho, foi feita a introdução de bovinos na área (2,0 UA por ha, sendo UA – unidade animal), com permanência dos animais por 90 dias (julho a setembro). Após a retirada do gado, permaneceram apenas as touceiras de braquiária na área. Em seguida, esperou-se que ocorressem as primeiras chuvas e realizou-se uma adubação em cobertura na braquiária com 200 kg ha⁻¹ do formulado N P K (20:00:20) a lanco na primeira quinzena de setembro. Após a rebrota, quando a área estava totalmente coberta pela capineira, foi feita a dessecação e o plantio do feijão. Uma área de Cerrado (Cerradão) natural adjacente² às áreas cultivadas (17°26.642'S; 51°22.522'W e altitude 951 m) foi considerada como condição original do solo (Figura 7).



Cultivo de Girassol



Cultivo de milho



Cultivo da soja



Cultivo de milho

Figura 5. Sequência de culturas utilizadas na área de rotação em SPD, sem a utilização da braquiária, Montividiu, GO. Fotos: Marcos Gervasio Pereira e Adriano Perin.

¹ Safrinha = cultivo de ciclo curto feito logo após o cultivo da safra anual, a fim de utilizar a terra no período intermediário entre os ciclos das culturas principais, em condições climáticas menos favoráveis.

² A área de Cerradão mais próxima das áreas cultivadas encontrava-se a 13 km, pois na região de Montividiu, devido ao relevo plano e ao solo (Latosolo Vermelho), ambos favoráveis a mecanização, grande parte da cobertura original do solo foi removida para implantação da agricultura.



Cultivo de milho + braquiária



Colheita do milho



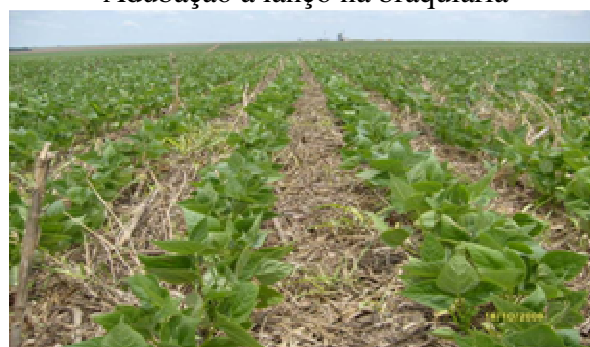
Pastejo na área de milho + braquiária



Adubação a lanço na braquiária



Rebrota da braquiária



Feijão sobre a palhada da braquiária



Algodão sobre a palhada da braquiária



Soja sobre a palhada da braquiária

Figura 6. Sequência de culturas utilizadas na área de integração lavoura-pecuária, Montividiu, GO. Fotos: Adriano Perin.



A₁



A₂



B₁



B₂

Figura 7. Vegetação característica de Cerradão (A₁ e A₂), com destaque para o aporte de serapilheira (B₁ e B₂), em Montividiu, GO. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.

Na área de ILP foi feita uma calagem em julho de 2005, utilizando-se uma dose de $3,60 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, com PRTN = 70 %, para elevar a saturação de bases para 70%. E, na área de SPD, foi realizada, também em julho de 2005, uma calagem na dose de $2,90 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, com PRTN = 70 %, para elevar a saturação de bases para 60%. A sequência de culturas e adubações utilizadas nas duas áreas, desde o ano de 2002 até 2008, é descrita na Tabela 2.

As áreas eram cultivadas com girassol em SPD e milho + braquiária em ILP quando da coleta das amostras de terra para avaliação. Por ocasião do plantio destas culturas, foi realizada, na cultura do milho, a aplicação de 450 kg ha^{-1} do formulado NPK (07:28:14) na semeadura + 200 kg ha^{-1} (20:00:20) na cobertura a lanço quando o milho apresentou entre 6-8 folhas + 100 kg ha^{-1} de uréia a lanço quando o milho estava com 10 folhas. Para a cultura do girassol utilizou-se 300 kg ha^{-1} do formulado NPK (02:20:20) + 2 kg ha^{-1} de boro na semeadura + 100 kg ha^{-1} de uréia na cobertura, quando o girassol apresentou de 4-6 folhas.

Tabela 2. Sequência de culturas e adubações utilizadas nas áreas avaliadas da Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Ano	Mês	Cultura	Adubação	
			Plantio	Cobertura
Área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja)				
2002	Outubro	Soja	580 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho+Braquiária	500 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2003	Outubro	Soja	580 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2004	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho + Braq	490 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2005	Setembro	Feijão	400 kg ha ⁻¹ de 05:20:10	90 kg ha ⁻¹ de uréia
2005	Dezembro	Algodão	500 kg ha ⁻¹ de 10:30:10	250 kg ha ⁻¹ de 20:00:20
2006	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2007	Outubro	Soja	450 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2008	Setembro	Feijão	400 kg ha ⁻¹ de 05:20:10	90 kg ha ⁻¹ de uréia
2008	Dezembro	Algodão	500 kg ha ⁻¹ de 10:30:10	250 kg ha ⁻¹ de 20:00:20
Área de SPD¹ (girassol-soja-milho-algodão)				
2002	Agosto	Milheto	-----	-----
2002	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2003	Agosto	Milheto	-----	-----
2003	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2004	Agosto	Milheto	-----	-----
2004	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2005	Agosto	Milheto	-----	-----
2005	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2006	Fevereiro	Girassol	300 kg ha ⁻¹ de 02:20:20	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2006	Agosto	Milheto	-----	-----
2006	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho	400 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2007	Agosto	Milheto	-----	-----
2007	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Girassol	300 kg ha ⁻¹ de 02:20:20	100 kg ha ⁻¹ de uréia
2008	Agosto	Milheto	-----	-----
2008	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----

¹ Na área de SPD, todo mês de agosto de cada ano (2002 a 2008) era semeado o milheto para produção de palhada para o SPD da soja no mês de outubro. Antes de 2002, não era feita a safrinha e nem semeado o milheto. A área permanecia em pousio nos meses de maio a setembro, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colônio e a braquiária.

3.2.3 Amostragem de solo

Para a coleta das amostras, realizadas em março de 2008, foi delimitada uma área em torno de 600 m², na qual foram abertas quatro trincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área. Foram amostradas as camadas de 0,0-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm e, também foi feita uma amostragem até 100 cm de profundidade (0,0-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0;

20,0-30,0; 30,0-40,0; 40,0-50,0; 50,0-60,0; 60,0-80,0 e 80,0-100,0 cm), abrindo-se três trincheiras, para fins de se medir a composição isotópica (^{15}N e ^{13}C) e quantificar os teores de areia, silte e argila, determinar a densidade do solo (Ds) e posteriormente calcular os estoques de carbono e nitrogênio até 1 (um) metro. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas a 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Nas mesmas profundidades foram coletadas amostras de terra, no sentido horizontal, para a determinação da Ds pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), sendo a altura de 3,9 cm e diâmetro de 4,1 cm, com volume de 51,46 cm³. Posteriormente os resultados de Ds foram utilizados para o cálculo da massa equivalente de solo e avaliação dos estoques de nutrientes no solo.

3.2.4 Análises realizadas

a) Análise granulométrica, densidade do solo, pH em água, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , K^{+1} , nitrogênio total e P assimilável.

Essas análises foram realizadas segundo métodos de rotina em Embrapa (1997) e Tedesco et al. (1985).

b) Ataque sulfúrico e formas de ferro

Para a caracterização dos teores de Si, Fe e Al foram utilizadas amostras de terra provenientes dos horizontes A (0-10 cm) e B (40-60 cm) de cada uma das áreas. Os teores desses elementos foram quantificados pelo ataque sulfúrico segundo Embrapa (1997).

A porcentagem de sílica (SiO_2) foi obtida por meio da solubilização da sílica no resíduo do ataque sulfúrico com solução de NaOH a 30%, sob fervura branda e refluxo, sendo determinada colorimetricamente após tratamento com solução ácida de molibdato de amônio, ácido ascórbico e ácido fosfórico. A porcentagem de ferro total (Fe_2O_3) foi determinada em uma alíquota do extrato sulfúrico (ajustada a pH 1,5) por meio de titulação com EDTA 0,01 mol L⁻¹, usando-se como indicador o ácido sulfossalicílico. A porcentagem de alumínio total (Al_2O_3) foi determinada na mesma alíquota em que foi dosado o Fe_2O_3 , após correção do pH com acetato de amônio. A dosagem do Al_2O_3 foi feita titulando-se o excesso de EDTA 0,031 mol L⁻¹ com ZnSO_4 0,016 mol L⁻¹ e descontando-se o valor do TiO_2 na amostra.

O Fe relativo à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos (Fed) foi extraído com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio a 80 °C, em duas extrações sucessivas (Mehra e Jackson, 1960). O Fe referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo) foi extraído com oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 3 no escuro (Schwertmann, 1964). Os teores de Fe solubilizados foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA). A concentração dos minerais óxidos de Fe foi realizada pelo tratamento da fração argila com solução de NaOH 5 mol L⁻¹ quente (Kämpf e Schwertmann, 1983).

c) Estoques de nutrientes

Para o cálculo dos estoques dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg foi utilizado o método da massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al. 2004), conforme equação abaixo.

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

onde:

C_S é o estoque total em Mg ha⁻¹,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do nutriente da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha⁻¹),

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha^{-1}),

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$ é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento referência (Mg ha^{-1}),

M_{Tn} é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha^{-1}),

C_{Tn} é a concentração do nutriente na última camada do perfil do tratamento avaliado ($\text{Mg de nutriente por Mg}^{-1}$ de solo).

3.2.5 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foram avaliados como delineamento inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo - tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com 4 repetições cada para os dados de fertilidade e 3 repetições para os dados de Ds. Os sistemas de uso do solo estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no sistema de uso da terra. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5 %.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Composição textural e densidade do solo

A análise granulométrica revelou que todas as áreas possuem textura muito argilosa, com teores de argila acima de 600 g kg⁻¹ em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3. Composição textural do solo (g kg⁻¹) encontrada nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Argila	Areia	Silte	Classe textural
0,0-10,0 cm				
SPD	660	170	170	Muito argilosa
ILP	640	230	130	
Cerradão	610	240	150	
10,0-20,0 cm				
SPD	730	150	120	Muito argilosa
ILP	670	230	100	
Cerradão	630	260	110	
20,0-30,0 cm				
SPD	730	150	120	Muito argilosa
ILP	670	210	120	
Cerradão	610	270	120	
30,0-40,0 cm				
SPD	750	130	120	Muito argilosa
ILP	710	200	90	
Cerradão	660	240	100	
40,0-50,0 cm				
SPD	680	140	180	Muito argilosa
ILP	650	200	150	
Cerradão	640	250	110	
50,0-60,0 cm				
SPD	760	140	100	Muito argilosa
ILP	670	180	150	
Cerradão	650	250	100	
60,0-80,0 cm				
SPD	750	140	110	Muito argilosa
ILP	730	190	80	
Cerradão	660	260	80	
80,0-100,0 cm				
SPD	770	130	100	Muito argilosa
ILP	710	180	110	
Cerradão	660	250	90	

Os maiores valores de Ds foram encontrados nas áreas de SPD e ILP, e os menores, na área de Cerradão, independentemente da profundidade avaliada (Figura 8). Esse padrão pode ter decorrido do manejo realizado nas áreas em SPD e ILP, com uso de máquinas agrícolas para plantio e colheita, contribuindo para os maiores valores de Ds nas áreas cultivadas em comparação aos menores valores na área de Cerradão, que não foi submetida à ação antrópica.

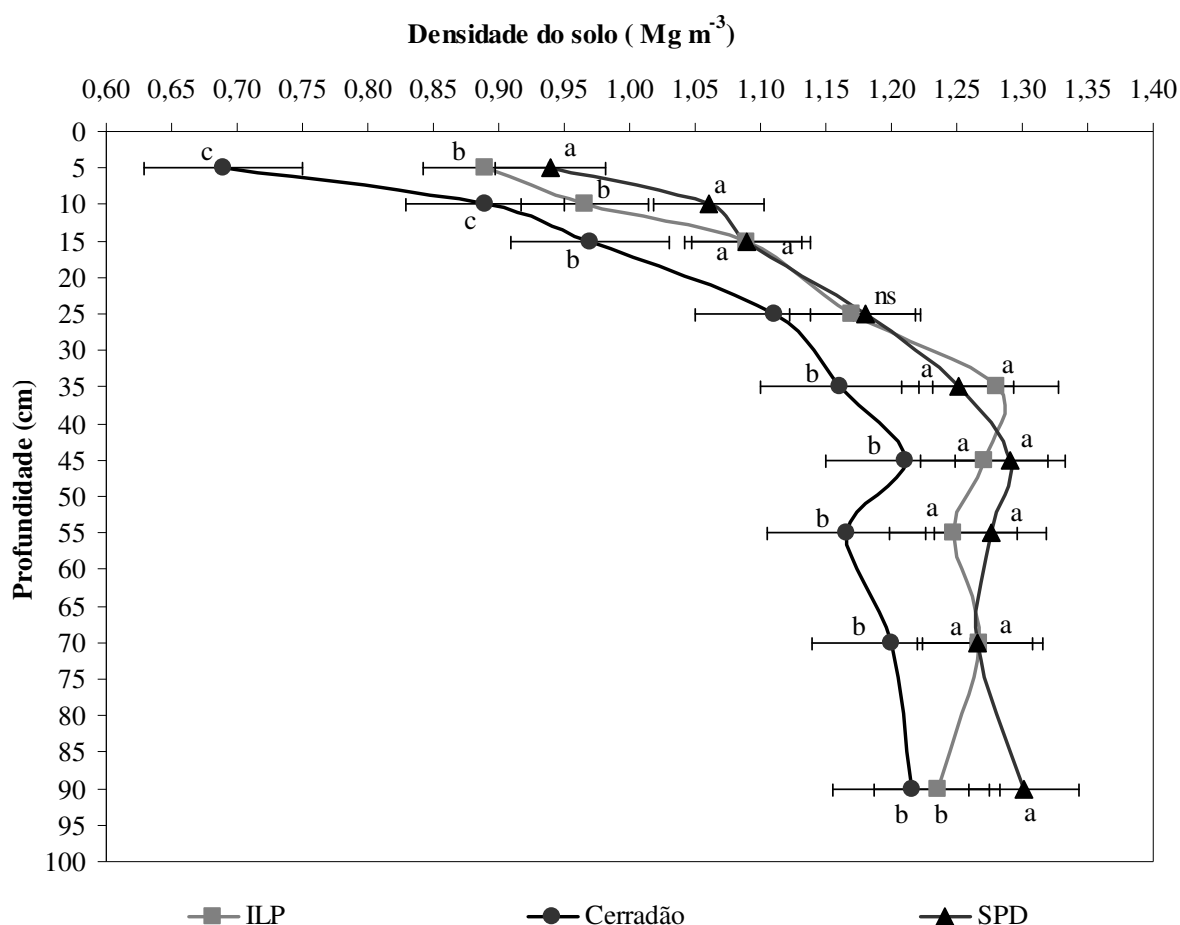


Figura 8. Valores da densidade do solo até 100 cm de profundidade nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5%.

Entre as áreas de cultivadas, o solo sob ILP apresentou menores valores de Ds no intervalo compreendido entre 0,0-10,0 cm e, para a última camada avaliada, no intervalo de 80,0-100,0 cm, sendo nesta profundidade observado valores iguais aos da área de Cerradão. Os menores valores de Ds observados no sistema de ILP podem ser atribuídos a 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. Desta forma, pode-se inferir que provavelmente há um aumento da porosidade do solo e, conseqüentemente, uma redução dos valores de Ds. Estes resultados corroboram os de Fonseca et al. (2007), em que os autores avaliaram a densidade de um Latossolo sob Cerrado com duas rotações de culturas e verificaram que a área com braquiária apresentou os menores valores de Ds e maiores valores de agregação. Os autores concluíram que os menores valores de Ds encontrados foram ocasionados pelo sistema radicular da braquiária por meio de sua rizodeposição, com conseqüente aumento dos teores de matéria orgânica do solo.

Em um estudo sobre a evolução da qualidade física em uma unidade de referência tecnológica, em Querência, MT, após um ano de ILP, Franchini et al. (2010) verificaram que os resultados obtidos por meio da determinação da resistência à penetração (RP) evidenciaram que o uso de forrageiras tropicais (*Urochloa* sp) em sistemas de ILP melhorou a qualidade física do solo, proporcionando, em um ano, a eliminação de camadas compactadas produzidas pelo uso contínuo do solo com soja. A partir dos resultados obtidos por Franchini et al.

(2010), pode-se inferir que provavelmente a diminuição da RP está associada à diminuição dos valores de Ds e maior umidade.

Em relação aos valores de Ds em profundidade (0-100 cm), esses foram menores em superfície com aumento em profundidade, principalmente entre as camadas de 10,0-20,0 e 30,0-40,0 cm para os três sistemas de uso do solo avaliados. O aumento da Ds em profundidade pode apresentar relação com as pressões exercidas pelas camadas superiores, podendo promover compactação pela redução da porosidade. Além disso, a movimentação de material fino dos horizontes superiores também pode contribuir neste processo (Hillel, 1998). Somado a essas características, o aumento da Ds em profundidade também está associado à redução dos teores de carbono orgânico e a menor agregação do solo.

Um dos principais entraves apontados para o sistema de ILP está na integração de atividades agrícolas com a pecuária, pois podem ocorrer alterações nas propriedades físicas do solo, dentre estas o aumento da Ds pelo pisoteio animal. Segundo Flores et al. (2007), a atuação do gado, por meio do pisoteio, parece ser potencializada por períodos de déficit hídrico. Porém, o manejo eficiente do pastejo animal não compromete o rendimento agrícola das culturas seguintes, apesar de alterações nas propriedades físicas do solo, com destaque para a Ds (Marchão et al., 2007). Entretanto, neste estudo, não foram observadas diferenças entre as áreas cultivadas (ILP e SPD) para os valores de Ds, sendo verificado padrão contrário a alguns trabalhos (Marchão et al., 2007; Figueiredo et al., 2009; Souza et al., 2009). Esses autores encontraram maiores valores de Ds nas áreas com ILP em comparação as áreas somente com lavoura. Estas diferenças podem ser decorrentes do uso de número adequado de animais por hectare, onde nesse estudo dói aplicada a relação de 2UA/ha.

Em relação às alterações nas propriedades físicas do solo, deve-se atentar que estas mudanças não ocorrem somente quando se utiliza o sistema de ILP. Cada sistema de manejo do solo interfere no seu comportamento físico, com intensidades distintas (Silva et al., 2011). Avaliando diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado, Figueiredo et al. (2009), observaram que, embora a ILP tenha promovido maior compactação superficial, essas alterações ocorreram em todos os sistemas avaliados, quando comparado ao Cerrado nativo. Resultados semelhantes foram obtidos por Fonseca et al. (2007), os quais observaram que a passagem em solo sob Cerradão para sistemas de produção agrícola aumentou a Ds.

3.3.2 Formas de ferro extraídas pelo ataque sulfúrico e pelo citrato-bicarbonato-ditionito de sódio e oxalato de amônio

Os teores médios de ferro relativo à totalidade dos óxidos de ferro pedogênicos (Fed) na fração argila dos horizontes A e B foram menores na área de Cerradão, sendo verificado um decréscimo em torno de 20 % no horizonte A (42,11; 52,73 e 52,00 g kg⁻¹, respectivamente para a área de Cerradão, ILP e SPD) quando comparado às áreas cultivadas. Para o horizonte B, o decréscimo foi maior quando comparado à área de ILP (39,28 e 56,63 g kg⁻¹, respectivamente para Cerradão e ILP), sendo de 31 % e, para a área de SPD, 27 % (39,28 e 53,94 g kg⁻¹, respectivamente para Cerradão e ILP). Entre as áreas cultivadas, para o horizonte A os teores de Fed foram semelhantes (52,73 e 52,0 g kg⁻¹ para a área de ILP e SPD, respectivamente). Entretanto, para o horizonte B, a área de ILP apresentou incremento de 5% no teor de Fed (56,63 g kg⁻¹), comparada ao (53,94 g kg⁻¹) (Tabela 4).

Em relação aos teores médios de ferro relativo aos óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Fe_o) verificou-se que a área de ILP apresentou um incremento de 40 % quando comparada com as demais áreas para o horizonte A (2,43, 1,72 e 1,74 g kg⁻¹, respectivamente para a área de ILP, Cerradão e SPD). Entretanto, para o horizonte B, esse padrão foi observado na área de Cerradão, que apresentou um incremento de 37 % quando comparado com a área de ILP e de 93 %, com a área de SPD. Entre as áreas cultivadas, observaram-se maiores incrementos nos teores de Fe_o na área de ILP para os dois horizontes (2,43 e 1,81 g kg⁻¹ e, 1,74 e 1,29 g kg⁻¹, respectivamente para horizonte A e B), correspondendo a 40 %.

Tabela 4. Formas de ferro extraídas com citrato - bicarbonato - ditionito de sódio e oxalato de amônio (Fe_d, Fe_o e Fe_o/Fe_d) e ferro, alumínio e silício obtidos por intermédio do ataque sulfúrico em diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Horizonte	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ki	kr
	SPD							
A	52,00	1,74	0,033	210	264	90	1,35	1,11
B	53,94	1,29	0,024	211	282	95	1,27	1,05
ILP								
A	52,73	2,43	0,046	206	258	101	1,36	1,09
B	56,63	1,81	0,032	216	254	104	1,45	1,15
Cerradão								
A	42,11	1,72	0,041	108	227	67	0,81	0,68
B	39,28	2,49	0,063	105	233	71	0,77	0,64

Horizonte A (0-10 cm) e Horizonte B (40-60 cm). Fe_d= Fe relativo à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos; Fe_o= Fe referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade; ki=SiO₂*1,70/Al₂O₃; kr=SiO₂*1,70/{Al₂O₃ + (Fe₂O₃*0,64)}.

Para a relação Fe_o/Fe_d, que informa sobre o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe pedogênicos (Schwertmann, 1964), verificou-se que na média, os valores foram todos inferiores a 0,070, apresentando a seguinte ordem decrescente para os horizontes avaliados: SPD < Cerradão < ILP (horizonte A) e SPD < ILP < Cerradão (horizonte B). Entre as áreas cultivadas, observou-se uma diminuição da razão Fe_o/Fe_d entre os horizontes A e B, ou seja, de acordo com o aumento da profundidade, ocorreu uma diminuição dos valores de Fe_o/Fe_d (Tabela 4). Este padrão indica que os óxidos de Fe do horizonte B (camada de 20-40 cm) apresentam maior grau de cristalinidade (maiores teores de Fed) do que o horizonte A. Estes resultados podem ser atribuídos ao maior teor de COT em superfície, o que inibe a cristalização do óxido de Fe (Dick et al., 2005).

Entretanto, quando se compara os valores da razão Fe_o/Fe_d na área de Cerrado, verificou-se padrão contrário ao observado nas áreas cultivadas, com aumento da razão Fe_o/Fe_d em profundidade, indicando que no horizonte B têm-se menores teores de óxidos de alta cristalinidade (Fed). Esse padrão pode ser devido à maior intensidade de chuvas no verão no Bioma Cerrado. Essa condição propiciaria microambientes redutores em condições não-perturbadas (vegetação do Cerrado como condição original do solo), as quais levariam à dissolução dos óxidos de Fe e posterior carregamento para camadas mais profundas (Horizonte B) e neoformação de novos minerais (Silva Neto et al., 2008). Nas áreas cultivadas, o acúmulo de palhada sobre o solo, associado às rotações de culturas, pode estar criando um ambiente similar até os 40 cm de profundidade, com menores variações na temperatura e umidade do solo em comparação a área de Cerrado.

A rápida decomposição dos resíduos vegetais, segundo Zanelli et al. (2007) aumentou o teor de Fe relativo a óxidos de Fe de baixa cristalinidade, bem como os valores da razão Fe_o/Fe_d, em áreas de florestas da Suíça e Itália que foram substituídas por cultivo. Partindo desta informação e fazendo um paralelo com este estudo, sabe-se que a decomposição dos resíduos vegetais é condicionada pelas condições climáticas e também pelo tipo de material vegetal, ou seja, plantas C₃ e C₄. E, nas áreas avaliadas, na área de Cerrado têm-se apenas plantas C₃, com sinal isotópico (¹³C, ‰) dos resíduos vegetais encontrados na camada de 0-5 cm de -29,01‰, e para as áreas cultivadas, -24,06‰ e -21,98‰, para a área de SPD e ILP, respectivamente (Tabela 12). Por meio destes dados pode-se inferir que, uma vez fixada as condições climáticas, as diferenças encontradas nas áreas para a razão Fe_o/Fe_d na área de Cerrado e entre as áreas cultivadas, pode ser devida as diferenças na taxa de decomposição do

material vegetal, aos maiores teores de COT e atividade microbiana, que favorecem os principais mecanismos de dissolução e remobilização dos óxidos de Fe no ambiente pedogênico (Kämpf e Curi, 2000), ocasionando, nos 40 cm avaliados, microambiente diferenciado na área de Cerradão quando comparado com as áreas cultivadas.

Os valores do ataque sulfúrico revelaram que o solo das áreas tem menores teores de SiO_2 quando comparados com os teores de Al_2O_3 , destacando-se a área de Cerradão, com menores teores de SiO_2 , evidenciando a riqueza deste solo em óxidos, tais como a gibbsita, em comparação das argilas silicatadas. Os teores de 67 e 71 g kg^{-1} de Fe_2O_3 no horizonte A e B da área de Cerrado define o solo como hipoférrico e para as áreas cultivadas, os teores maiores que 80 g kg^{-1} de Fe_2O_3 e menores que 180 g kg^{-1} de Fe_2O_3 definem o solo como mesoférrico (Embrapa, 2006).

Segundo Resende e Santana (1988), valores de k_r menores do que 0,75 definem o solo com características mineralógicas oxídicas e, maiores que 0,75, características caulíníticas, enquanto valores próximos a 1,0 salientam o equilíbrio entre estes dois elementos. Perante a essas informações, constata-se que por meio dos valores da relação k_i (0,81 e 0,87) e k_r (0,68 e 0,64) na área de Cerradão há o predomínio da mineralogia oxídica, como a gibbsita e para as áreas cultivadas, que apresentaram valores de k_i e k_r todos superiores a 1,0, indica o predomínio de mineralogia caulínítica, com equilíbrio entre os óxidos de SiO_2 e Al_2O_3 , conforme apresentado na Tabela 4.

3.3.3 Avaliação da fertilidade do solo e estoques de nutrientes

A área de Cerradão apresentou os menores valores de pH (0-5, 5-10 e 10-20 cm), sendo esses reflexos da condição natural do solo, com altos teores de Al (0,75, 0,65 e 0,55 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente para 0-5, 5-10 e 10-20 cm). As áreas de SPD e ILP não apresentaram diferenças entre si quanto ao pH, sendo os valores diretamente influenciados pelos valores de Ca e Mg encontrados nas áreas (Tabela 5). E, os valores de Ca e Mg estão diretamente relacionados com a calagem realizada, nas duas áreas, no ano agrícola de 2005.

A área de ILP apresentou maiores valores de Ca e K em todas as profundidades avaliadas quando comparada as demais áreas. Entre estas, destaca-se a área de Cerradão com os menores valores de Ca e K em todas as profundidades avaliadas. Para o Mg, a área de SPD (5-10 e 20-40 cm) apresentou maiores valores que a área de ILP, também se destacando a área de Cerradão com os menores teores de Mg em todas as profundidades avaliadas. Resultados semelhantes ao deste estudo foram verificados por Siqueira Neto (2006) avaliando a fertilidade de Latossolos com diferentes usos em Rio Verde, GO. O autor encontrou menores teores de Ca e Mg na área de Cerrado em comparação as áreas em SPD. Entre estas, o autor observou maiores teores de Ca e Mg nas áreas com maior tempo de uso em SPD (12 anos).

As áreas cultivadas (SPD e ILP) apresentaram boa disponibilidade dos elementos Ca e Mg, principalmente na camada superficial. Segundo Raij et al. (1997), este padrão pode ser decorrente do uso de calcário nas áreas de SPD e ILP, o que promoveu o suprimento dos elementos além de realizar a correção da acidez. Estudos realizados com aplicação de diferentes doses de calcário em superfície em SPD num Latossolo Vermelho Distrófico mostraram que a correção da acidez do solo ocorreu tanto em superfície (0-20 cm) quanto em camadas mais profundas (20-40 cm) (Caíres et al., 1999). Este padrão pode ser observado nas áreas cultivadas, com destaque para área de ILP que até a profundidade de 20,0-40,0 cm, não apresentou teores de Al nocivos para as plantas (Tabela 5).

Tabela 5. Caracterização química dos solos sob diferentes sistemas de uso no Cerrado, Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	0-5 cm						
	pH	Ca	Mg	Al	K	P	N
	-----		cmol _c kg ⁻¹			mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
SPD	6,65 a	4,46 b	4,17 ^{ns}	0,0 b	0,23 b	10,89 a	1,46 c
ILP	6,64 a	6,12 a	3,01 ^{ns}	0,0 b	0,28 a	10,89 a	2,35 b
Cerradão	5,34 b	2,36 c	2,56 ^{ns}	0,75 a	0,20 c	2,37 b	3,21 a
CV (%)	3,64	39,24	22,98	9,67	12,12	12,69	12,69
5-10 cm							
SPD	6,51 a	3,68 b	2,53 a	0,0 b	0,17 b	5,35 b	1,17 c
ILP	6,49 a	5,61 a	2,06 b	0,0 b	0,20 a	13,28 a	1,65 b
Cerradão	5,31 b	0,81 c	1,19 c	0,65 a	0,11 c	1,43 c	1,83 a
CV (%)	5,17	16,30	15,45	7,93	15,96	6,54	17,25
10-20 cm							
SPD	6,11 a	1,01 b	0,95 a	0,0 b	0,10 b	2,77 b	1,25 b
ILP	6,19 a	2,75 a	0,90 a	0,0 b	0,18 a	4,09 a	1,18 b
Cerradão	5,49 b	0,25 c	0,35 b	0,55 b	0,06 c	1,01 c	1,55 a
CV (%)	5,64	18,93	27,61	9,96	18,07	23,74	11,06
20-40 cm							
SPD	5,81 ^{ns}	0,96 b	0,90 a	0,30 ^{ns}	0,08 b	2,27 b	0,89 c
ILP	5,99 ^{ns}	1,55 a	0,70 b	0,20 ^{ns}	0,11 a	3,34 a	1,01 b
Cerradão	5,39 ^{ns}	0,15 c	0,35 c	0,40 ^{ns}	0,05 c	1,01 c	1,64 a
CV (%)	5,64	18,93	27,61	9,96	18,07	23,74	11,06

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV=coeficiente de variação.

O sistema plantio direto pode minimizar os efeitos acidificantes dos fertilizantes nitrogenados, através do aumento dos teores de MOS, que proporciona a formação de compostos de caráter anfótero e atuam como tampão nas alterações do pH do solo (Lopes et al., 2004). Também através do aumento da força iônica da solução do solo pelo incremento de bases trocáveis (Ca, Mg e K) na camada superficial (Cadavid et al., 1998).

Os maiores valores de pH, Ca e Mg nas áreas cultivadas quando comparados com a área de Cerradão estão associados a calagem, principalmente nas camadas superficiais do solo. Em profundidade, pode-se associar, além da calagem, que os maiores teores de Ca e Mg podem ser carregados (movimentação dos mesmos no perfil do solo) por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberados pela decomposição das plantas de cobertura, como a braquiária no ILP e o milho no SPD.

De acordo com Franchini et al. (1999; 2003) e Pavinato e Rosolem (2008), um dos principais mecanismos responsáveis pela eficiência da correção da acidez do solo, com a aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto, são os ácidos hidrossolúveis de baixa massa molar. Segundo os autores, esses compostos provenientes de decomposição da palhada das plantas de coberturas podem interagir com a fase sólida e ocupar os sítios de absorção de nutrientes, competindo diretamente com eles e aumentando a sua disponibilidade no solo. A presença desses compostos é capaz de potencializar o efeito da calagem, mobilizando a chamada frente alcalina, com capacidade de complexar Ca e Mg, elevar o pH e neutralizar o alumínio em profundidade (Araújo, 2003). Esses compostos hidrossolúveis de baixa massa molar também aumentam a mobilidade no perfil do solo dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície. Também, é normal se observar o aumento na disponibilidade de P no solo, com a adição de resíduos vegetais, tanto pelo P presente no

resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo (Pavinato e Rosolem, 2008).

Em estudo sobre os atributos químicos de um Latossolo de Cerrado com plantas de cobertura de milho e consórcio de milho + braquiária, Silveira et al. (2010) verificaram que os teores de Ca e Mg aumentaram (0-5, 5-10 e 10-20 cm) entre dois anos agrícolas, independente da planta de cobertura utilizada e, também relataram que na área com milho verificaram-se maiores teores de Mg quando comparado com a área de milho + braquiária até 20 cm de profundidade. Este padrão também foi observado neste estudo para o Mg, que apresentou maiores teores na área de SPD, com o uso do milho como planta de cobertura. O que pode sugerir maior liberação de compostos hidrossolúveis de baixa massa molar pela palhada do milho e, esses acarretaram na maior mobilização do Mg em profundidade quando comparado com a área de ILP.

A área de ILP apresentou maiores valores de N, P e K em comparação a área de SPD, em todas as profundidades avaliadas, exceto para P (0,0-5,0 cm) e N (10,0-20,0 cm), onde não se observaram diferenças entre as áreas. A área de Cerradão apresentou os menores teores de K e P e os maiores teores de N (Tabela 5). Os maiores teores de P e K nas áreas cultivadas quando comparadas com a área de Cerradão são decorrentes das adubações realizadas nas áreas agrícolas (Tabela 2). Para o N, os menores teores encontrados nas áreas cultivadas quando comparado com a área de Cerradão podem ser devidos à maior extração deste nutriente pelo sistema radicular das culturas comerciais, principalmente para o enchimento dos grãos de milho, soja e girassol.

Entre as áreas cultivadas, os maiores teores de N, P e K no solo da área de ILP podem ser explicados pela adubação realizada nesta área (Tabela 2) e, no que tange ao N, também, soma-se a utilização de duas leguminosas (feijão e soja) no sistema de ILP contra apenas uma (soja) no SPD. Aliado a estas diferenças, tem-se a grande capacidade de absorção e acúmulo desses nutrientes que a braquiária possui (Crusciol e Borghi, 2007), sendo os mesmos liberados para o solo a partir da decomposição de sua palhada. Resultados semelhantes foram encontrados por Rossi (2009), avaliando a dinâmica da MOS em áreas de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo, em SPD no Cerrado goiano. A autora também verificou maiores teores de P e K na área de soja cultivada sobre palhada de braquiária.

Os maiores estoques de Ca foram verificados na área de ILP em todas as camadas avaliadas, sendo observados valores de 2.151 kg ha⁻¹ neste sistema contra 1.148 kg ha⁻¹ na área de SPD, para a camada de 0-40 cm (Figura 9A). Para os estoques de Mg, verificaram-se maiores valores na área de SPD em todas as camadas avaliadas, sendo observado na camada de 0-40 cm, valores variando entre 640 kg ha⁻¹ (SPD) e 506 kg ha⁻¹ (ILP) (Figura 9B).

Em relação aos estoques de P, não foram verificadas diferenças na camada de 0-5 cm entre as áreas cultivadas. Entretanto, para as camadas de 0-10, 0-20 e 0-40 cm, a área de ILP apresentou os maiores estoques de P em comparação às demais áreas avaliadas, com valores variando entre 11,28, 15,06 e 20,78 kg ha⁻¹ para as camadas de 0-10, 0-20 e 0-40 cm, respectivamente. Já a área de SPD apresentou valores variando entre 7,95; 11,50 e 15,27 kg ha⁻¹, para as mesmas camadas avaliadas (Figura 9C).

Para os estoques de K, a área de ILP apresentou os maiores estoques em todas as camadas avaliadas, sendo na camada de 0-40 cm, verificado valores de 177 kg ha⁻¹ na área de ILP, em comparação a área de SPD com 138 kg ha⁻¹ (Figura 9D). A dinâmica do K em sistemas de ILP diverge daquela de outros sistemas de manejo, porque são mais complexos e envolvem, além das práticas relacionadas à cultura de grãos, a introdução dos animais (Ferreira et al., 2009).

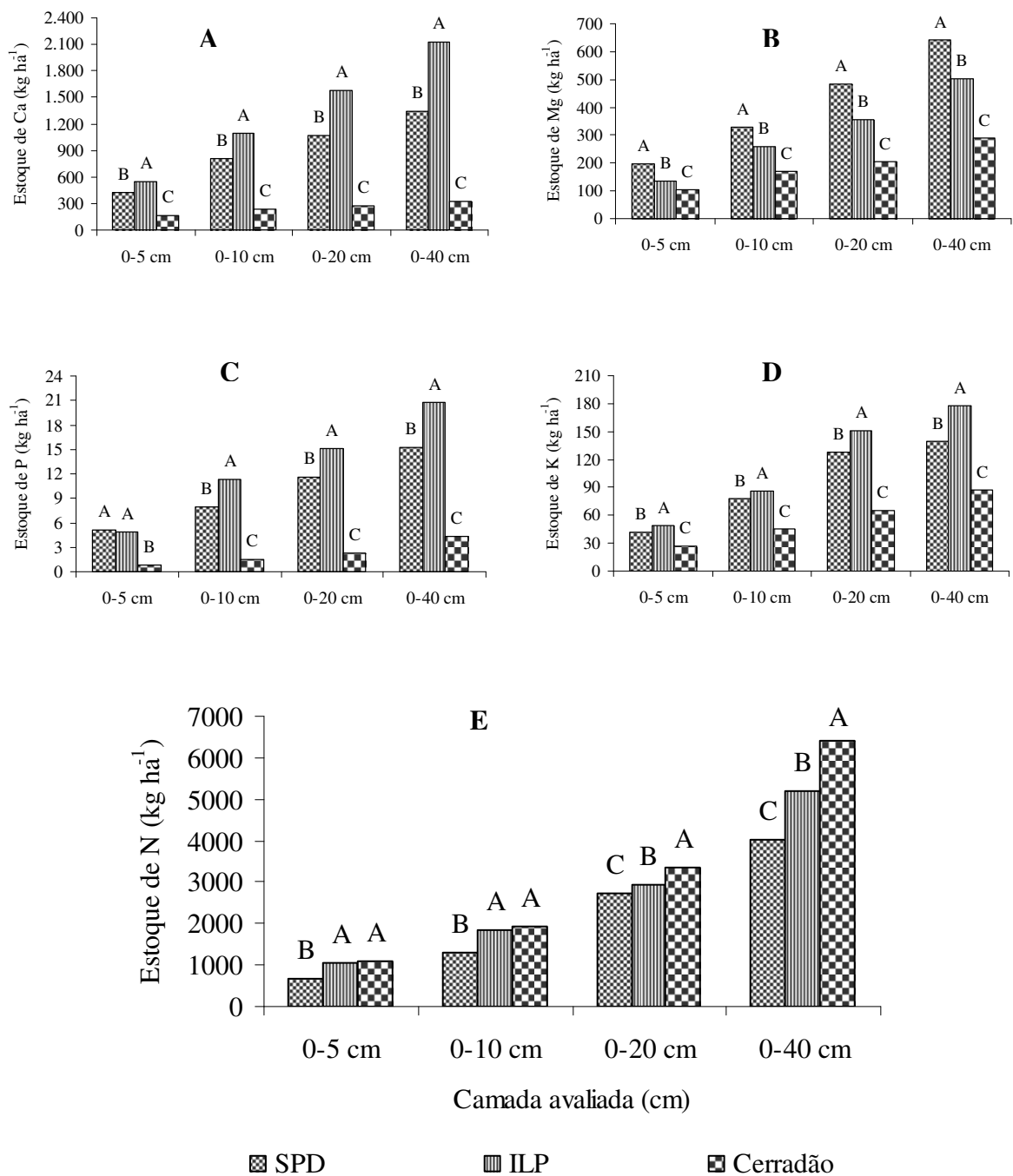


Figura 9. Estoques de nutrientes avaliados nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%.

A ciclagem de nutrientes é mais complexa sob ILP, devido ao pastejo, por causa da distribuição heterogênea dos excrementos animais nas pastagens e dos efeitos do pisoteio, que contribuem para aumentar a compactação do solo no local e as perdas de nutrientes (Haynes e Williams, 1993). Entretanto, Souto (2006) concluiu que a presença dos animais em sistema de ILP resultou em aumento nos teores de K do solo. Este resultado é decorrente da influência dos animais na redistribuição dos nutrientes pelo consumo, via desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção (Nascimento Jr. e Cavalcante, 2001).

Os estoques de N foram todos maiores na área de ILP quando comparados à área de SPD, com valores variando entre 1.046, 1.845, 2940 e 5.214 kg ha⁻¹, respectivamente, para as camadas de 0-5, 0-10, 0-20 e 0-40 cm (Figura 9E). Apenas para o nitrogênio, a área de Cerradão apresentou maiores teores que as áreas cultivadas na camada de 0-40 cm. Os estoques de N são modificados principalmente pela quantidade e tipo de resíduo depositado no solo (Amado et al., 2001). Na área de Cerradão tem-se constante aporte de serapilheira ao solo (Figura 7) e, provavelmente uma menor extração de N pelo sistema radicular, uma vez que o sistema encontra-se mais estável, com uma relação C/N mais próxima da biomassa microbiana. Nas áreas cultivadas, no sistema de ILP tem-se a utilização de duas leguminosas (soja e feijão) em comparação área de SPD, que tem somente a soja, além da adubação diferenciada utilizada nas áreas (Tabela 2), ocasionando nas diferenças de teores (Tabela 5) e estoques de N (Figura 9E) entre as áreas cultivadas.

As áreas cultivadas (SPD e ILP) quando comparadas com a área de Cerradão, apresentaram maiores estoques dos nutrientes Ca, Mg, K e P em todas as camadas avaliadas (Figuras 9A, 9B, 9C, 9D). Este padrão está associado às adubações realizadas nas áreas cultivadas (Tabela 2) e, entre estas se destaca a área de ILP, que apresentou maiores teores de Ca, P, K e N na camada de 0-40 cm em comparação a área de SPD, na ausência da braquiária. Estes resultados demonstram que o cultivo consorciado do milho safrinha com braquiária (ILP) reflete diretamente no aumento da fertilidade do solo, reduzindo a acidez e aumentando os teores desses macronutrientes.

Em estudos sobre a fertilidade do solo em SPD por longo tempo em uma cronossequência sob Latossolo no Paraná, Sá et al. (2009) também verificaram que o uso do SPD é uma estratégia útil para melhorar a fertilidade dos solos com carga variável. Segundo Crusciol e Borghi (2007), o cultivo consorciado do milho com braquiária beneficiou diretamente os teores de P, K, Ca e Mg, com reflexo direto no valor T e na saturação por bases (V%), comparado às áreas sob SPD com cultivo exclusivo de milho no verão e pousio no período de outono/inverno/primavera, ou milho/aveia. Esses autores relataram que os resultados foram decorrentes do grande aporte de palhada somado ao grande volume de raízes em profundidade proporcionado pela braquiária e, evidenciam o fato das espécies forrageiras serem mais eficientes no aproveitamento do P do solo do que as culturas anuais.

De maneira geral, os maiores estoques de Ca, K, P e N encontrados na área de ILP quando comparado ao SPD demonstram que o sistema de ILP tem grande potencial de uso agrícola no domínio morfoclimático do Cerrado. E, este resultado, segundo Ferreira et al. (2011) indica que o sistema de ILP é sustentável, pois tem como premissa o manejo adequado do solo, das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais de forma que, ao mesmo tempo, não cause restrições ao ambiente radicular e produza quantidades de resíduos suficientes para a consolidação do sistema.

3.4 CONCLUSÕES

A área de Cerradão apresentou os menores valores de densidade do solo (Ds). Entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP apresentou os menores valores (Ds) em comparação ao SPD até 10 cm de profundidade.

Para este estudo, em função do número de animais utilizados (2UA/ha) não foram constatados aumentos dos valores de Ds em comparação a área sem o pisoteio animal.

Os valores das relações k_i e k_r indicam o predomínio na fração argila de gibbsita no solo da área de Cerradão, e de caulinita para as áreas cultivadas.

As áreas cultivadas apresentaram maiores teores e estoques de nutrientes em todas as profundidades avaliadas, com exceção para o nitrogênio, quando comparadas com a área de Cerradão.

O sistema de ILP, associado às adubações realizadas nas culturas e na braquiária, resultou em maiores teores de fertilidade do solo e estoques de nutrientes quando comparado com a área de SPD.

4 CAPÍTULO II:

FRAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) quando associado à utilização da braquiária junto à rotação de culturas e o pastejo de animais (Integração Lavoura-Pecuária – ILP) contribui significativamente para o aumento do carbono das frações químicas e físicas da matéria orgânica do solo (MOS). Este trabalho teve como objetivos avaliar alguns indicadores físicos e químicos da MOS em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de terra nas profundidades de 0,0-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, em delineamento inteiramente casualizado. Os atributos físicos da MOS avaliados foram: matéria orgânica leve (MOL) em água, fração leve livre (FLL), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam). Os atributos químicos avaliados foram: carbono orgânico total (COT), frações oxidáveis do carbono (F1, F2, F3 e F4), carbono da fração humina (C-HUM), fração ácido húmico (C-FAH) e fração ácido fúlvico (C-FAF). Também foram quantificados os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) da MOL e da FLL. Foram gerados os índices F1/F4, F1+F2/F3+F4, FAH/FAF e (FAH+FAF)/HUM. A área de ILP apresentou maior massa e C-MOL (5-10 cm), maior massa, C e N da FLL (0-10 cm) quando comparada com a área de SPD. Maiores teores de COT também foram encontrados na área de ILP quando comparada com a área de SPD (0,0-5,0, 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm). Para o carbono oxidável, a área de ILP, de maneira geral, apresentou maiores teores nas frações F1, F2, F4 e F1/F4 em comparação a área com SPD. Os maiores estoques de C-HUM (0,0-10,0 cm) e C-FAH (0,0-20,0 cm) foram encontrados na área com ILP quando comparada com a área de SPD. Em relação ao Cerradão, a área de ILP apresentou maiores valores para: estoques de COT (5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm), N-MOL e ¹⁵N-MOL (0,0-5,0 cm), C-FAH e FAH/FAF (5,0-10,0 cm), estoque de COp (0,0-40,0 cm), C e N da FLL (0,0-5,0 cm). Por meio dos indicadores químicos COT, estoques de C-FAH e carbono oxidável e, dos indicadores físicos, COp, MOL e FLL, foi possível inferir que o sistema de ILP aumentou essas frações da MOS quando comparado a área de SPD. O sistema de ILP também propiciou uma distribuição equilibrada das formas de carbono lábeis (F1) e recalcitrantes (F4) no solo, maior grau de humificação da MOS e melhor estratificação do COp em comparação a área de SPD.

Palavras-chave: Matéria orgânica leve. Carbono oxidável. Rotação de culturas.

ABSTRACT

No-Tillage System (NTS) when associated with brachiaria in crop rotation and grazing of animals (Integration Agriculture and Cattle-Raising System - IACRS) may contribute significantly to increase of carbon in the chemical and physical fractions of soil organic matter (SOM). This study aimed to evaluate some physical and chemical indicators of SOM in different land management systems in Cerrado region, Goias State. There were evaluated two areas with crop rotation: IACRS (brachiaria + corn / bean / cotton / soybean) and NTS (sunflower / millet / soy / corn). An area of natural Cerrado vegetation was taken as reference of original soil condition. Soil samples at depths of 0.0 to 5.0, 5.0 to 10.0, 10.0-20.0 and 20.0 to 40.0 cm were taken in a randomized design. The SOM physical attributes evaluated were: light organic matter (LOM) in water, free light fraction (FLF), particulate organic carbon (POC), and organic carbon associated with minerals (OCam). The chemical SOM characteristics were: total organic carbon (TOC), oxidizable carbon fractions (F1, F2, F3 and F4), and carbon from humin (C-HUM), humic acid (C-HAF) and fulvic acid fractions (C-FAF). Contents of carbon (C) and nitrogen (N) of LOM, and FLF were also quantified. Indices F1/F4, F1+F2/F3+F4, HAF/FAF and (HAF+FAF)/C-H were calculated from the SOM data. The IACRS area showed significantly greater mass and C-LOM (5 to 10 cm), higher mass, C and N of FLF (0 to 10 cm) than NTS. The highest TOC was found in IACRS area, when compared with NTS area (0.0 to 5.0, 5.0-10.0 and 10.0 to 20.0 cm). Oxidized carbon values in IACRS area, in general, showed higher concentrations in the fractions F1, F2, F4 and F1/F4 than NTS. The C-HUM stocks (0.0 to 10.0 cm) and C-HAF (0.0 to 20.0 cm) were higher in IACRS than in NTS area. Regarding Cerrado area, the IACRS showed the highest values of: TOC (5.0 to 10.0, and 10.0 to 20.0 cm), N-LOM and ¹⁵N-LOM (0.0 to 5.0 cm), C-HAF and HAF/FAF (5.0 to 10.0 cm), POC (0.0 to 40.0 cm) stock, C and N of FLF (from 0.0 to 5.0 cm). From the chemical indicators, TOC, C-AHF stock and oxidizable carbon, and the physical indicators, POC, LOM and FLF, it was possible to infer that IACRS increased these SOM fractions when compared with the NTS area. The IACRS system also provided a balanced distribution of labile (F1) and recalcitrant (F4) forms of soil carbon, greatest degree of SOM humification, and better POC stratification than NTS area.

Key words: Light organic matter. Oxidizable carbon. Crop rotation.

4.1 INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado é o segundo maior em extensão geográfica e possui dinâmica acentuada em termos de sazonalidade e antropismo (Sano et al., 2007), sendo hoje uma das maiores áreas cultivadas do mundo (Siqueira Neto et al., 2009). A conversão do Cerrado, por meio da derrubada e queima da vegetação natural, em diferentes sistemas de manejo pode resultar na diminuição dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), da fertilidade do solo, do aumento da erosão (Bernoux et al., 2004) e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção. Os efeitos do sistema de manejo sobre a MOS têm apresentado direta ou indiretamente alterações nas características químicas e físicas dos solos. Os sistemas de manejo que favorecem o incremento dos teores de carbono resultam no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e da disponibilidade de nutrientes para as culturas (Siqueira Neto et al., 2009).

Nos últimos anos têm sido intensificados os trabalhos sobre o acúmulo de carbono em solos de Cerrado (Bernoux et al., 2004, Fontana et al., 2006; Blanchart et al., 2007; Siqueira Neto et al., 2009; Pereira et al., 2010) sob diferentes formas de manejo (preparo convencional, sistema plantio direto, pastagens). Entretanto, estes estudos enfocam principalmente os estoques de carbono orgânico total do solo (COT). Desta forma, é necessário obter maior volume de dados sobre o padrão das diferentes frações que compõem o COT, como as de carbono orgânico oxidável, o carbono das frações húmicas e o carbono das frações granulométricas e densimétricas, para melhor recomendação de uso e manejo desses solos.

O sistema plantio direto (SPD) é uma forma de manejo de produção agrícola que combate eficazmente a erosão do solo e contribui significativamente para o aumento de carbono e estoques de nutrientes no solo, principalmente quando associado à rotação de culturas anuais (Fontana et al., 2006; Costa Junior, 2008; Silva et al., 2009; Sá et al., 2009; Marchão et al., 2009; Boddey et al., 2010; Pereira et al., 2010). Aliado ao SPD, a utilização da integração lavoura-pecuária (ILP) (SPD com rotação de culturas e braquiária) pode acarretar em maiores aumentos dos teores de MOS e, conseqüentemente, de seus compartimentos químicos e físicos, assim como também beneficiar os estoques de carbono e nutrientes no solo.

O aporte de carbono em solos tropicais geralmente ocorre superficialmente. Este aporte é influenciado pela melhor distribuição de chuvas, manutenção da cobertura do solo e adequado manejo (Brançalião e Moraes, 2008). Sob cultivo, alguns estudos têm mostrado que o COT é pouco sensível para detectar mudanças químicas de curto prazo na MOS, em função de diferentes manejos (Conceição et al., 2005; Souza et al., 2006; Souza et al., 2010; Loss et al., 2009b). Dessa forma, além do COT, devem ser adotadas outras frações para monitorar, em menor tempo, mudanças nos compartimentos da MOS e fluxos de carbono entre estes compartimentos (Oliveira Júnior et al., 2008; Loss et al., 2009a,b).

Dentre as frações da MOS, têm-se alguns compartimentos que expressam adequadamente as alterações na qualidade do solo em função do manejo adotado. A utilização de sistemas de manejo que promovam diferentes aportes de fitomassa vegetal ao solo, dentre eles o SPD associado a ILP, podem ser identificados por meio das frações químicas e físicas da MOS. Dessa forma, pode-se utilizar o fracionamento químico da MOS (Benites et al., 2003; Oliveira Júnior et al., 2008; Loss et al., 2010b), o uso do carbono oxidável (Rangel et al., 2008; Loss et al., 2009a, 2010a; Barreto et al., 2011; Loss et al., 2011b), as frações granulométricas da MOS (Cambardella e Elliot, 1992; Loss et al. 2009b) e a fração leve livre (FLL) da MOS (Freixo et al., 2002; Pinheiro et al., 2004; Pillon et al., 2011) como

ferramentas para avaliar as mudanças no uso da terra em função do manejo adotado e, posteriormente, quantificar os teores de carbono de cada uma das frações.

A conversão de lavouras em SPD para sistemas de ILP pode resultar em expressivos aumentos nos teores de nutrientes do solo, principalmente pelo fato deste sistema integrado de uso da terra resultar em maior conteúdo de MOS. Por outro lado, o cultivo mais intensivo do solo pode acarretar em maior extração de nutrientes nas áreas sob ILP. Contudo, existem poucos estudos conclusivos enfocando as mudanças nos atributos edáficos e nas frações da MOS após a implantação destes sistemas de ILP (Carvalho, 2009; Carvalho et al., 2011, Loss et al., 2011a).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar alguns indicadores químicos e físicos da MOS em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

4.2.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

4.2.3 Amostragem de solo

A descrição da amostragem está apresentada no item 3.2.3 do Capítulo I.

4.2.4 Análises realizadas

a) Carbono orgânico total e respectivos estoques

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado segundo Yeomans e Bremner (1988), onde foram pesadas 0,5 g das amostras de TFSA, macerada e passada pela peneira de 60 mesh. O material foi colocado em erlenmeyer de 250 mL, sendo em seguida, adicionados 5 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol.L⁻¹) e 7,5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Posteriormente, aqueceu-se em bloco digestor à 170°C por 30 min. Em seguida, adicionou-se 80 mL de água destilada e 0,3 mL da solução indicadora (fenantrolina) para então titular com a solução de Sulfato Ferroso amoniacal 0,2 mol.L⁻¹. Para o cálculo do estoque de COT foi utilizado o método da massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al. 2004), conforme equação descrita no item 3.2.4 (c) do Capítulo I.

b) Frações de carbono orgânico oxidável

O fracionamento do carbono foi realizado por graus de oxidação (Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008). Amostras de 0,5 g de TFSA foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, onde foi adicionado 10 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de H_2SO_4 , correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se como indicador a fenantrolina. O fracionamento do carbono produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação:

-Fração 1 (F1): C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 3 mol L⁻¹ de H_2SO_4 ;

-Fração 2 (F2): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L⁻¹ de H_2SO_4 ;

-Fração 3 (F3): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L⁻¹ de H_2SO_4 ;

-Fração 4 (F4): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 12 e 9 mol L⁻¹ de H_2SO_4 .

Em relação às frações oxidáveis do carbono, visando à obtenção de índices para o melhor entendimento da dinâmica entre estas frações, calcularam-se as relações entre as frações F1/F4 e F1+F2/F3+F4.

c) Fracionamento químico da MOS

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM), sendo utilizada a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Para tal, pesou-se uma massa de TFSA igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = C-FAF + C-FAH) e o

resíduo (C-HUM) foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e secado a 65 °C (secagem completa). O pH do EA foi ajustado a 1,0 ($\pm 0,1$) com H₂SO₄ 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (C-FAH) foi separado da fração solúvel (C-FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,00 mL de extrato, 1,00 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,00 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo seco em estufa, foi determinado o C-HUM, adicionando-se 5,00 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ e indicador ferroin (Yeomans e Bremner, 1988). Por meio do carbono das substâncias húmicas, calcularam-se as relações entre o C-FAH/C-FAF e extrato alcalino (EA = C-FAH + C-FAF) e a humina (EA/C-HUM), conforme (Benittes et al., 2003). Também foi calculado o estoque de carbono de cada fração húmica, utilizando o método de massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al. 2004).

d) Fracionamento granulométrico da MOS

Aproximadamente 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal (Cambardella e Elliot, 1992). A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans e Bremner (1934). O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP. Também foi calculado o estoque de carbono de cada fração granulométrica, utilizando-se o método da massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al. 2004).

e) Fracionamento densimétrico da MOS: fração leve livre

A fração leve livre (FLL) da MOS foi obtida seguindo-se as recomendações descritas em Sohi et al. (2001) e Machado (2002). Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5 g de TFSA e 35 mL da solução de iodeto de sódio (NaI), com densidade de 1,8 ($\pm 0,1$ g cm⁻³). Os frascos com a mistura foram agitados lentamente de forma manual por 30 segundos, visando dispersar os agregados instáveis e permitir a flotação da FLL na solução de NaI, sendo, a seguir, centrifugados a 8.000 x g, por 30 min. Após a centrifugação, a FLL presente na superfície da solução de NaI foi aspirada e filtrada em sistema com vácuo utilizando-se, nesta etapa, filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e 2 µm de retenção. A FLL retida nos filtros foi cuidadosamente lavada com água destilada, visando remover o excesso de NaI, sendo, a seguir, levada à estufa de circulação forçada de ar para secar a 65°C durante 72 h.

Para determinação da massa de FLL pesou-se primeiramente somente o filtro, e em seguida, após a secagem completa da amostra, pesou-se esta juntamente com o filtro. Dessa forma, subtraiu-se o peso do filtro {(Massa de FLL= (Massa do filtro e amostra) – massa do filtro)}, obtendo-se a massa, em gramas, da FLL. Posteriormente, foram determinados os teores de C e N, contidos na massa da FLL, pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália).

f) Matéria orgânica leve em água (MOL)

Foram pesados 50 g de TFSA e acondicionados em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, deixando-se em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila e silte (Anderson e Ingram, 1988).

Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, novamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionado novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e verter o material vagarosamente em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água foi removido. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de alumínio (previamente pesados), levado a estufa a 65 °C até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto. Posteriormente, foram determinados os teores de C e N, contidos na massa da MOL, pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália).

4.2.5 Análises estatísticas

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo - tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com 4 repetições cada. Os sistemas de uso do solo avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no sistema de uso da terra. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5%

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Carbono orgânico total (COT) e respectivos estoques (EstCOT)

Em relação ao COT, observou-se que nos primeiros 5,0 cm do solo, os maiores teores ocorreram na área de Cerradão, onde a deposição de matéria orgânica é intensificada devido ao aporte de resíduos vegetais e, também, devido à ausência de influência antrópica. Já na profundidade de 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, os maiores teores de COT foram encontrados na área de ILP, quando comparados com as áreas de SPD e Cerradão (Figura 10).

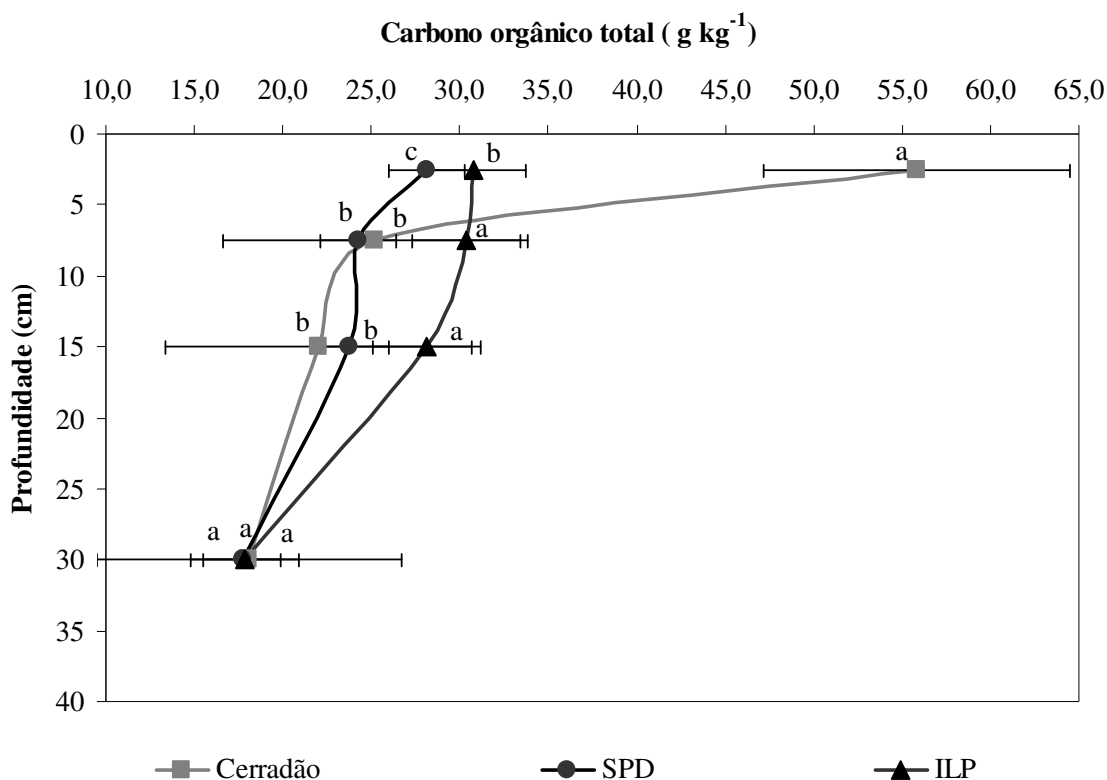


Figura 10. Teores de carbono orgânico total do solo encontrados nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5%.

Na área de ILP, o consórcio da braquiária junto ao milho safrinha propicia a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta e, portanto, favorece o acúmulo de COT devido a sua maior relação C/N. Resultados semelhantes foram encontrados por Passos et al. (2007a,b), em cultivo de milho por 30 anos sob Latossolo Vermelho Distrófico, em Minas Gerais. Os autores verificaram que o cultivo de milho por 30 anos possibilitou a uniformização do COT, já que seus resíduos culturais possuem uma elevada relação C/N, contribuindo para a elevação do COT em maiores profundidades quando comparado com a área testemunha de Cerradão.

Nas profundidades de 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, a área de ILP apresentou maiores teores de COT em relação à área de Cerradão e SPD (sem braquiária). Este padrão demonstra

que o cultivo do solo na forma de ILP, está aumentando, em profundidade, o teor de COT quando comparado à testemunha (Cerradão) e ao SPD, na ausência da braquiária.

Em profundidade (20,0-40,0 cm), o padrão apresentado pelas áreas em SPD, isto é, valores estatisticamente iguais, pode ser decorrente de seu histórico de uso. Nas áreas cultivadas são realizadas as safras agrícolas anualmente e também a safrinha (cultivo que acontece após a colheita da safra anual, sendo milho+braquiária cultivado após a soja (ILP) e, girassol após o cultivo da soja (SPD). Entretanto, na área de SPD nem sempre foi feita a safrinha. Esta começou a ser realizada nos últimos cinco anos. Antes disto, após o cultivo da soja, a área permanecia em pousio, sendo ocupada por plantas invasoras tais como capim colônio (*Panicum maximum*) e braquiária (*U. ruziziensis*), ambas C₄. Além disso, soma-se o efeito positivo da palhada de milho, que por meio de seu sistema radicular, consegue adicionar carbono ao solo, assim como a braquiária. Por esta razão, na área de SPD, observaram-se teores de COT em profundidade estatisticamente iguais aos encontrados na área com ILP.

As áreas cultivadas (SPD e ILP) possuem 17 anos que são manejadas na forma de sistema plantio direto, sendo consideradas entre as fases de evolução do sistema solo com o tempo de cultivo em sistema plantio direto como sendo a fase de consolidação (10 a 20 anos de cultivo) segundo Anghinoni (2007). Nesta fase ocorre acúmulo de matéria orgânica e palha no solo, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, maior armazenamento de água e reciclagem de nutrientes. Dentre estas características citadas, pode-se observar que a área de ILP, nas profundidades de 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, possui maiores teores de COT que a área de Cerradão, sendo verificados valores iguais para a área de SPD e o Cerradão nestas mesmas profundidades (Figura 10).

Estes resultados indicam a eficiência do cultivo em sistema plantio direto em acumular carbono no solo com o passar dos anos e, destaca-se que a utilização da braquiária junto ao milho na safrinha (ILP) é mais eficiente que a área de SPD, na ausência da braquiária. Em áreas manejadas na forma de sistema plantio direto, a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas e a permanência dos resíduos culturais na superfície (Conceição et al., 2005) favorecem a agregação do solo, que por sua vez a protege da mineralização e promove o aumento da MOS (Sá et al., 2001).

Os teores de COT encontrados na área de Cerradão apresentaram um decréscimo acentuado em profundidade, sendo este próximo de 55% (0,0-5,0 cm para 5,0-10,0 cm) e 61% (0,0-5,0 cm para 10,0-20,0 cm). Este padrão é mais suave quando se observa os teores de COT entre as áreas cultivadas, sendo na área de SPD verificado um decréscimo de 14 e 15% e na de ILP, apenas 1,2 e 8,3% (Figura 6). Estas diferenças mostram que o SPD e a ILP propiciam melhor distribuição dos teores de COT em profundidade quando comparado à área de Cerradão. Consequentemente, o SPD e a ILP acarretam melhorias na fertilidade do solo (Figura 9), sendo este padrão evidenciado por Jantalia et al. (2007) e Siqueira Neto et al. (2009), em áreas de Cerrado da mesma região e sob a mesma ordem de solo.

Os maiores estoques de COT ocorreram na área de Cerradão para a profundidade de 0,0-5,0 cm, sendo os valores iguais entre as áreas cultivadas (Tabela 6). Os maiores estoques de COT na área de Cerradão estão relacionados à deposição de matéria orgânica, que é intensificada nesta área devido ao aporte de resíduos vegetais e, também, à ausência de influência antrópica.

Nas profundidades de 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, foram verificados maiores estoques de COT na área de ILP, destacando-se que na profundidade de 10,0-20,0 cm, a área de Cerradão apresentou os menores valores dentre as áreas avaliadas. Para a profundidade de 20,0-40,0 cm, assim como para os teores de COT, não foram verificadas diferenças entre as áreas (Tabela 6). Este padrão indica a eficiência do cultivo na forma de sistema plantio direto (SPD e ILP) para aumentar os estoques de COT em profundidade. Estes resultados corroboram os

Siqueira Neto et al. (2009), avaliando os estoques de COT em SPD em Latossolo Vermelho em Rio Verde, GO. Os autores verificaram que a distribuição do carbono em profundidade aumentou como tendência de recuperar os teores originais semelhantes ao Cerradão.

Tabela 6. Estoques de carbono orgânico total do solo encontrados nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso do solo			
	SPD	ILP	Cerradão	CV (%)
	Estoque de COT (Mg ha⁻¹)			
0,0-5,0	9,66 B	10,57 B	19,19 A	4,26
5,0-10,0	11,28 B	13,60 A	11,24 B	2,87
10,0-20,0	22,08 B	26,88 A	20,50 C	3,09
20,0-40,0	34,74 A	34,21 A	33,09 A	4,15
0,0-40,0	77,78 B	85,26 A	84,02 A	4,18

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%.
CV=coeficiente de variação.

Na profundidade de 10,0-20,0 cm, os maiores estoques de COT nas áreas cultivadas comparadas ao Cerradão demonstram a eficiência do cultivo conservacionista (ILP e SPD) associado ao uso de plantas de cobertura da família das gramíneas, sendo a braquiária na área de ILP e o milho na área de SPD. Este resultado evidencia que o cultivo conservacionista não só mantém estoques de carbono iguais aos originais (Cerradão), mas também, quando bem manejado e associado a plantas de cobertura (para boa produção de palhada) ajustadas às condições climáticas da região, aumenta os estoques de COT, como constatado na profundidade de 10,0-20,0 cm.

Os maiores estoques de COT na área de ILP podem decorrer do consórcio do milho com a braquiária. A qual, 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.

Para a camada de 0,0-40,0 cm, verificou-se que a área de ILP apresentou maiores valores de estoques que área de SPD, não diferindo da área de Cerradão (Tabela 6). Estes resultados indicam que a utilização da ILP é mais eficiente que o uso somente do SPD (sem braquiária) para aumentar os estoques de COT. E, também se apresenta como sistema promissor para recuperar os estoques de COT originais do solo, pois os valores de estoques foram iguais aos encontrados na área de Cerradão. Nesta área, os elevados estoques de COT são oriundos, além da ausência de cultivo, da deposição contínua e variada de substratos orgânicos, que provavelmente apresentam diferentes graus de suscetibilidade à decomposição e acarretam em elevados teores de C-MOL (Tabela 12). Na área de ILP, além da adição da palhada das culturas comerciais e da braquiária, somam-se aos estoques de COT as excretas dos animais. Estas são depositadas sobre o solo de forma heterogênea e, ao longo do tempo, esse material se decompõe e adicionam mais carbono ao solo, assim como N, P e K.

Os maiores estoques de COT na camada de 0,0-40,0 cm na área de ILP refletem nos maiores estoques de nutrientes (Ca, K, N e P) encontrados nesta área (Figura 9) quando comparado com a área de SPD, na ausência da braquiária. Incrementos nos teores de MOS (leia-se estoques de COT) aumentam a capacidade dos solos em reter nutrientes, sendo responsável por grande parte (até 70 %) da CTC dos solos tropicais (Silva et al., 2004). Nos maiores estoques de COT encontrados na área de ILP, soma-se a contribuição do C-MOL (Tabela 12), que na profundidade de 5,0-10,0 cm foi maior que na área de SPD.

4.3.2 Frações oxidáveis do carbono orgânico total do solo

Em relação às frações oxidáveis do COT, na profundidade de 0-5 cm, a área de Cerradão apresentou os maiores teores em todas as frações, com exceção a fração F2, onde se verificaram valores iguais aos da área de ILP (Tabela 7). Este resultado é decorrente do maior aporte de material vegetal oriundo da cobertura vegetal de Cerradão, o que reflete nos maiores teores de COT (Figura 6) e também, carbono oxidável.

Tabela 7. Frações oxidáveis de carbono orgânico nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Frações oxidáveis de carbono (g kg ⁻¹)			
	F1	F2	F3	F4
0,0-5,0 cm				
SPD	10,50 B	5,81 B	7,69 B	1,25 C
ILP (	11,43 B	7,69 A	4,56 C	4,06 B
Cerradão	18,00 A	7,70 A	10,97 A	15,10 A
CV(%)	6,17	8,87	8,10	9,84
5,0-10,0 cm				
SPD	8,25 B	6,88 A	5,50 B	1,25 C
ILP (	11,25 A	7,25 A	6,25 A	2,63 B
Cerradão	8,50 B	3,00 B	4,88 C	3,75 A
CV(%)	4,71	8,87	7,00	5,87
10,0-20,0 cm				
SPD	8,88 B	2,97 B	5,13 A	1,25 C
ILP (	10,88 A	4,00 A	3,75 C	2,63 B
Cerradão	8,75 B	3,50 A	5,25 A	3,75 A
CV(%)	8,28	9,89	10,61	6,31
20,0-40,0 cm				
SPD	6,90 A	2,45 B	2,48 B	1,05 B
ILP (	6,93 A	3,95 A	2,50 B	2,05 A
Cerradão	6,22 A	2,45 B	5,48 A	2,03 A
CV(%)	6,84	9,33	9,23	8,34

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. F1: C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido de 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F2: diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 6 e 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F3: diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 9 e 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F4: diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 12 e 9 mol L⁻¹ de H₂SO₄. CV=coeficiente de variação

Entre as áreas de cultivo, nas profundidades de 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, a área de ILP apresentou maiores teores de carbono na fração F1 e nas profundidades de 0-0-5,0, 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, maiores teores de carbono na fração F2, quando comparada a área de SPD. Este padrão é devido à utilização da braquiária consorciada ao milho safrinha, promovendo o aporte de maiores quantidades de resíduos vegetais, conseqüentemente, maiores teores de COT e carbono nas frações mais lábeis (F1 e F2) da MOS quando comparada à área SPD, sem braquiária. Nas áreas com aporte de matéria orgânica via resíduos vegetais, os valores de carbono das frações F1 e F2 são maiores, com maior proporção para a F1 (Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008; Loss et al., 2009a). Desta forma, as culturas implantadas na área de ILP estão sendo beneficiadas com matéria orgânica de maior labilidade, a qual propiciará melhoria nas propriedades físicas e químicas do solo (Blair et al., 1995), favorecendo o desenvolvimento radicular das culturas comerciais, logo a absorção de água e nutrientes.

De maneira geral, a área de Cerradão apresentou maiores teores de carbono nas frações F3 (0,0-5,0 e 20,0-40,0 cm) e F4 (0,0-5,0, 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm) (Tabela 7). Este

padrão pode ser devido ao acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular oriundos da decomposição e humificação da MOS no ambiente de vegetação natural (Stevenson, 1994), destacando-se os maiores teores de C-HUM nas profundidades de 0,0-5,0 cm e 5,0-10,0 cm (Tabela 8). Resultados semelhantes a este foram encontrados por Rangel et al. (2008) avaliando as frações oxidáveis de carbono orgânico de Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro e comparado a uma área de mata nativa, em MG. Os autores observaram que na área com mata, a fração F4 apresentou maiores teores de carbono nas frações F3 e F4 quando comparado com a área cultivada.

A área com ILP apresentou maiores teores de carbono na fração F3 quando comparada a área de SPD, na profundidade de 5,0-10,0 cm e, na fração F4, para todas as profundidades avaliadas (Tabela 7). As frações F3 e F4 são frações mais resistentes no solo, com maior tempo de permanência (Chan et al., 2001; Stevenson, 1994). Portanto, na área de ILP, o uso da braquiária pode estar propiciando a formação de substâncias de maior peso molecular e estabilidade química, tais como C-HUM e C-FAH, em comparação a área de SPD. Estes resultados são corroborados pelos maiores estoques de C-HUM (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm) e C-FAH (0,0-5,0, 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm) observados na área de ILP (Tabela 9).

Por meio das frações do carbono oxidável, de maneira geral, verificou-se que a área de ILP apresentou os maiores valores de carbono nas frações F1 e F2 e, também, para a fração F4 quando comparada à área de SPD (Tabela 7). Dessa forma, há um melhor equilíbrio entre a distribuição do carbono destas frações na área de ILP, sendo ao mesmo tempo encontrada no solo matéria orgânica de maior labilidade (F1 e F2) e de maior resistência (F4). Este padrão corrobora os valores encontrados para o índice F1/F4 (Tabela 10), onde na área de ILP verificaram-se valores mais próximos aos da testemunha (Cerradão), indicando que na área de ILP tem-se uma distribuição mais equilibrada do carbono presente nas frações F1 e F4 quando comparada com a de SPD.

4.3.3 Carbono e estoques de carbono das frações húmicas da MOS

Para as substâncias húmicas, na profundidade de 0,0-5,0 cm observou-se que os maiores teores de carbono ocorreram na área de Cerradão (Tabela 8). Este padrão é devido ao maior aporte de serapilheira e ausência de influência antrópica nesta área, apresentando o mesmo padrão do COT. Em ambientes naturais, a formação das substâncias húmicas é atrelada à atividade microbiana (Machado e Gerzabeck, 1993), sendo a humificação, ao longo do tempo, o resultado final do processo microbiológico.

Em relação às áreas cultivadas, na profundidade de 0,0-5,0 cm, a área de ILP apresentou maiores teores de C-HUM e C-FAH quando comparada a área de SPD. Os teores de C-FAH também foram maiores na profundidade 5,0-10,0 cm para a área de ILP (Tabela 8). Estes resultados podem ser decorrentes do uso da braquiária, favorecendo o aporte de resíduos vegetais de maior relação C/N. Dessa forma, há menor velocidade de decomposição dos resíduos adicionados ao solo na área de ILP, propiciando a formação do C-FAH quando comparada a área de SPD.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rossi (2009), avaliando a dinâmica da MOS em áreas de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo, em SPD no Cerrado goiano. A autora também encontrou maiores teores de C-FAH e C-HUM na área de soja cultivada sobre palhada de braquiária.

Tabela 8. Carbono das frações húmicas da MOS nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Carbono das frações húmicas (g kg ⁻¹)		
	C-HUM	C-FAF	C-FAH
0,0-5,0 cm			
SPD	13,49 C	4,83 B	3,81 C
ILP	18,17 B	5,08 B	5,50 B
Cerradão	28,22 A	6,47 A	8,99 A
CV(%)	9,69	9,93	9,89
5,0-10,0 cm			
SPD	12,55 B	4,95 A	3,76 C
ILP	12,63 B	4,49 B	5,07 A
Cerradão	15,29 A	4,99 A	4,33 B
CV(%)	8,35	9,12	8,16
10,0-20,0 cm			
SPD	11,65 ns	4,30 B	3,32 ns
ILP	11,29 ns	4,44 B	3,55 ns
Cerradão	12,13 ns	5,07 A	3,68 ns
CV(%)	15,20	10,16	14,59
20,0-40,0 cm			
SPD	10,58 A	4,17 A	2,29 A
ILP	10,19 A	4,07 A	2,35 A
Cerradão	8,23 B	3,89 A	2,01 B
CV(%)	9,16	16,16	12,41

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. ns=não significativo pelo teste F. C-HUM: carbono da fração húmica; C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: carbono da fração ácido húmico. CV=coeficiente de variação.

Na ausência de revolvimento do solo, diferenças na composição das substâncias húmicas são reguladas principalmente pela atividade microbiana (Machado e Gerzabeck, 1993). Portanto, o abandono da prática de revolvimento do solo favorece a humificação e a formação de moléculas de maior massa molar, e, dessa forma, a condensação natural e prevalência de C-FAH no solo (Slepetiene e Slepetys, 2005).

A dinâmica da evolução das frações húmicas da MOS pode também ser explicada em função do conteúdo de Ca, o qual possui um papel importante na estabilização das frações húmicas da MOS, resultante, em parte, da formação de humatos de Ca (Oades, 1988; Correa et al., 2003). Os maiores teores e estoques de Ca encontrados na área de ILP (Tabela 5 e Figura 9, respectivamente) podem favorecer o aumento no conteúdo dos complexos húmicos mais estáveis (Fernandes et al., 1999), destacando-se o C-FAH (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm) e C-HUM (0,0-5,0 cm) que apresentaram maiores valores na área de ILP quando comparada a área de SPD (Tabela 8).

O C-FAF apresentou maiores teores para a área de SPD na profundidade de 5,0-10,0 cm. A fração ácido fúlvico apresenta menor peso molecular e maior mobilidade no solo quando comparada à fração ácido húmico, sendo esta última favorecida pelo maior aporte de resíduos vegetais e conseqüente tendência de maior humificação. Na área de SPD, a ausência do uso de braquiária e os menores teores e estoques de Ca podem estar desfavorecendo o C-FAH e, o C-FAF passa a ter um aumento relativo referente ao menor teor de C-FAH.

Para o C-HUM observaram-se maiores valores para a área de ILP (0,0-5,0 cm), não sendo verificadas diferenças para as demais profundidades quando comparada com a área de

SPD (Tabela 9). Este resultado pode ser decorrente do maior teor de COT (Figura 10) encontrado na área de ILP (0,0-5,0 cm), já que a fração húmica representa em média 70 % do COT. Para as demais profundidades, apesar da área de ILP ter apresentado maiores teores de COT que a área de SPD (Figura 10), a similaridade apresentada entre os teores de C-HUM para as áreas cultivadas demonstra que o cultivo conservacionista (SPD e ILP) favorece a humificação do solo, principalmente em profundidade (20,0-40,0 cm), pois as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de C-HUM e C-FAH quando comparadas com a área de Cerradão (Tabela 8).

Na profundidade de 20,0-40,0 cm, assim como ocorreu para o COT (Figura 10) e para os estoques de COT (Tabela 6), entre as áreas cultivadas não foram verificadas diferenças para as frações húmicas. Este padrão demonstra que a rotação empregada nos sistemas avaliados está acarretando em aumentos similares de carbono na forma de substâncias húmicas em profundidade para os dois sistemas, destacando-se o efeito do sistema radicular da braquiária no sistema de ILP e do milho no SPD.

Os maiores estoques de C-HUM foram encontrados na área de Cerradão (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm), sendo que na profundidade de 20,0-40,0 cm, a área de Cerradão apresentou menores estoques de C-HUM quando comparada com as áreas cultivadas. Para a camada de 0,0-40,0 cm, não foram verificadas diferenças entre as áreas avaliadas (Tabela 9). Estes resultados são decorrentes dos maiores estoques de COT (0,0-5,0 cm, Tabela 6), maiores teores de C-HUM (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm, Tabela 8) e, também aos maiores valores de carbono da fração F4 (Tabela 7) encontrados na área de Cerradão, já que a fração húmica representa, em média, 80 a 90% do COT do solo e está relacionada com formas de carbono mais estáveis e recalcitrantes da MOS, assim como a F4.

Entre as áreas cultivadas, a área de ILP apresentou maiores estoques de C-HUM (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm) e C-FAH (0,0-5,0, 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm) quando comparada com a área de SPD (Tabela 9). Estes resultados são decorrentes dos maiores estoques de COT (Tabela 6) e estoques de Ca (Figura 9), que por sua vez são oriundos do consórcio do milho com a braquiária, o que favorece o aporte de resíduos vegetais de maior relação C/N. Dessa forma há uma menor taxa de decomposição dos resíduos adicionados ao solo, propiciando a formação e estabilização do carbono da húmica e ácidos húmicos quando comparada à área de SPD, na ausência da braquiária.

Os maiores estoques de C-FAF foram observados para a área de Cerradão nas profundidades de 0,0-5,0 e 10,0-20,0 cm e, para a profundidade de 20,0-40,0 cm a área de Cerradão e SPD apresentaram os maiores estoques de C-FAF (Tabela 9). A FAF, dentre as frações das substâncias húmicas, é a que possui maior mobilidade no solo (Stevenson, 1994), podendo ser carregada para maiores profundidades.

Na profundidade de 20,0-40,0 cm, os maiores estoques de C-FAF e C-FAH na área de SPD quando comparados com a de ILP, podem decorrer da utilização do milho como planta de cobertura no mês de agosto para o cultivo da soja em outubro. O milho, por meio de seu sistema radicular bem desenvolvido, podendo alcançar mais de 2,0 m, absorve nutrientes em maiores profundidades, extraindo e reciclando nutrientes não absorvidos pelas culturas anuais, que têm raízes menos profundas (Alvarenga et al., 2001). Além disso, segundo Foy (1997), com a decomposição do sistema radicular do milho, ocorre incorporação de carbono em profundidade. E, este carbono está aumentando os estoques das frações húmicas em profundidade, em maior proporção, quando comparado com a área de ILP.

Tabela 9. Estoques de carbono das frações húmicas da MOS nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Estoques de carbono das frações húmicas (Mg ha ⁻¹)		
	C-HUM	C-FAF	C-FAH
0,0-5,0 cm			
SPD	4,64 C	1,66 B	1,31 C
ILP	6,24 B	1,75 B	1,89 B
Cerradão	9,71 A	2,22 A	3,08 A
CV(%)	8,29	7,92	8,49
5,0-10,0 cm			
SPD	5,68 C	2,19 ^{ns}	1,68 C
ILP	6,19 B	2,05 ^{ns}	2,30 A
Cerradão	6,80 A	2,22 ^{ns}	1,93 B
CV(%)	9,96	17,51	10,38
10,0-20,0 cm			
SPD	10,95 ^{ns}	4,12 B	3,16 B
ILP	10,64 ^{ns}	4,12 B	3,54 A
Cerradão	11,21 ^{ns}	4,70 A	3,54 A
CV(%)	8,67	10,26	10,61
20,0-40,0 cm			
SPD	19,81 A	7,68 A	4,60 A
ILP	18,80 A	6,32 B	3,47 B
Cerradão	15,07 B	7,11 A	3,68 B
CV(%)	8,72	12,02	12,74
0,0-40,0 cm			
SPD	41,08 A	15,65 ^{ns}	10,75 B
ILP	41,87 A	14,24 ^{ns}	11,20 B
Cerradão	42,79 A	16,25 ^{ns}	12,23 A
CV(%)	8,72	15,02	13,75

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. C-HUM: carbono da humina; C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: carbono da fração ácido húmico. CV=coeficiente de variação.

Todavia, quando se compara a camada de 0,0-40,0 cm, não foram verificadas diferenças para os estoques de carbono das substâncias húmicas entre as áreas cultivadas (Tabela 9). Este padrão demonstra que a utilização das gramíneas braquiária e milho, ambas utilizadas como plantas de cobertura para aumento de palhada no sistema plantio direto, apresenta a mesma eficiência em relação aos estoques de carbono das substâncias húmicas até 40 cm de profundidade. E, conseguem recuperar os estoques originais do solo, para o C-HUM, pois as áreas cultivadas, após 17 anos de uso, apresentam estoques de C-HUM iguais ao da área original (Cerradão) para a camada de 0,0-40,0 cm.

4.3.4 Relação entre o carbono das substâncias húmicas e o carbono das frações oxidáveis

Em relação aos índices de carbono das substâncias húmicas, observa-se na Tabela 10, que para FAH/FAF, a área de Cerradão apresentou maiores valores na profundidade de 0-5 cm e, para 5,0-10,0 cm, verificaram-se valores iguais aos da área de SPD. Entre as áreas cultivadas, a área com ILP apresentou maiores índices da razão FAH/FAF (0,0-5,0 e 5,0-10,0

cm), sendo para a profundidade de 5,0-10,0 cm observado os maiores valores de FAH/FAF para a área de ILP quando comparada com a área de Cerradão.

Tabela 10. Relação entre o carbono das substâncias húmicas e o carbono das frações oxidáveis nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	FAH/FAF	EA/HUM	F1/F4	F1+F2/F3+F4
	0,0-5,0 cm			
SPD	0,79 C	0,64 A	8,40 A	1,82 A
ILP	1,08 B	0,58 A	2,82 B	2,22 A
Cerradão	1,39 A	0,55 A	1,19 C	0,99 B
CV(%)	6,35	10,95	4,49	8,57
5,0-10,0 cm				
SPD	0,76 B	0,69 A	6,60 A	2,24 A
ILP	1,13 A	0,76 A	4,28 B	2,08 A
Cerradão	0,87 B	0,61 A	2,27 C	1,33 B
CV(%)	7,23	11,56	5,62	6,54
10,0-20,0 cm				
SPD	0,77 A	0,65 A	7,10 A	1,86 AB
ILP	0,80 A	0,71 A	4,14 B	2,33 A
Cerradão	0,73 A	0,72 A	2,33 C	1,36 B
CV(%)	6,50	6,23	5,55	8,62
20,0-40,0 cm				
SPD	0,55 A	0,61 A	6,57 A	2,65 A
ILP	0,58 A	0,61 A	3,38 B	2,39 A
Cerradão	0,52 A	0,72 A	3,06 B	1,15 B
CV(%)	6,96	8,21	8,12	9,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV=coeficiente de variação.

Os maiores índices da razão FAH/FAF na área de ILP quando comparados com a área de SPD indicam o predomínio de C-FAH em comparação ao C-FAF. Este padrão é devido ao maior aporte de resíduos vegetais ao solo, advindos do consórcio do milho + braquiária. Desta forma, tem-se uma maior humificação e estabilização da FAH a partir das transformações ocorridas nos resíduos vegetais aportados ao solo no sistema ILP. Na área de Cerradão, na profundidade de 0,0-5,0 cm, observa-se este padrão também, pois os altos teores de COT (Figura 9) são devidos ao maior aporte de serapilheira proveniente desta cobertura vegetal.

A manutenção de maiores teores de C-FAH em comparação aos teores de C-FAF evidencia solos mais preservados, de manejo mais conservacionista (Canellas et al., 2003). Desta forma, a área de ILP apresenta-se como mais favorável para a manutenção dos teores de C-FAH quando comparada com a área de SPD. Os maiores estoques de C-FAH encontrados na área de ILP (Tabela 9) corroboram estes resultados.

Estudos desenvolvidos por Fontana et al. (2006), sobre a razão FAH/FAF em áreas de SPD somente com rotação de culturas (soja/nabo/milho/aveia) e SPD associado com ILP (soja/nabo/milho/aveia/braquiária) em Latossolo Vermelho, MS, também relatam resultados semelhantes ao deste trabalho. Os autores encontraram menores índices da relação FAH/FAF para a área de SPD (0,58) e maiores na área com ILP (1,03).

Para as profundidades de 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm não foram verificadas diferenças entre as áreas para a razão FAH/FAF. Este fato pode ser decorrente da similaridade entre os teores de C-FAH e C-FAF entre as áreas apresentadas nestas profundidades (Tabela 8). Para a relação EA/HUM, não foram observadas diferenças entre as áreas para nenhuma das

profundidades. Este padrão demonstra que há um equilíbrio entre a distribuição das frações húmicas entre as áreas cultivadas e a área de Cerradão.

As frações F1 e F4 referem-se às frações mais lábeis e mais recalcitrantes (persistentes) da MOS, respectivamente. Já as frações F2 e F3 são intermediárias às demais, sendo a F2 mais semelhante à F1, e a F3 mais similar à F4. Portanto, o índice F1/F4 mais próximo a 1,0 indica um melhor equilíbrio entre a distribuição dos teores de carbono mais lábeis e mais recalcitrantes no solo. Desta forma, a área de Cerradão é a que apresenta a melhor distribuição entre o carbono dessas frações até a profundidade de 10,0-20,0 cm, com menores valores, sendo estes mais próximos a 1,0. Entre as áreas cultivadas, destaca-se para todas as profundidades, a área de ILP, que apresentou menores valores da relação F1/F4 quando comparados a área de SPD (Tabela 10). Este padrão indica que na área de ILP tem-se melhor distribuição entre as formas de carbono mais lábeis e recalcitrantes quando comparada com área de SPD, na ausência da braquiária. Nesta área, têm-se maiores proporções da F1 em comparação a F4, ocasionando em maiores índices de F1/F4, como verificados na Tabela 10.

Para os valores referentes à relação entre F1+F2/F3+F4 verificou-se melhor distribuição do carbono oxidável para área de Cerradão em todas as profundidades, com valores próximos a 1,0 (Tabela 10). Este padrão demonstra que em áreas sem interferência antrópica tem-se um melhor equilíbrio entre a distribuição das frações do carbono oxidável. Entre as áreas cultivadas, não foram observadas diferenças, sendo verificados maiores valores para este índice nas áreas de SPD e ILP quando comparado a área de Cerradão. Este padrão indica que se têm maiores valores de carbono nas frações F1+F2 quando comparado com as frações F3+F4 (Tabela 7). Portanto, nas áreas cultivadas têm-se maiores entradas de material (resíduos vegetais) de maior labilidade. E, os maiores teores de carbono nas frações mais lábeis nas áreas cultivadas são decorrentes do manejo (SPD e ILP) aliado à rotação de culturas. Portanto, tem-se constantemente aporte de resíduos vegetais ao solo, sendo estes (além da adubação química) responsáveis pelos maiores estoques de nutrientes encontrados nestas áreas em comparação a área de Cerradão (Figura 9).

Resultados semelhantes foram encontrados por Barreto et al. (2011) avaliando a distribuição do carbono das frações oxidáveis em áreas com sistemas agroflorestais (BA). Os autores verificaram que as frações F1+ F2 representaram mais de 50% do COT e, que estas frações foram mais importantes para aumentar os estoques de COT.

Por meio das relações entre F1/F4 e FAH/FAF foi possível evidenciar diferenças na qualidade química da MOS em função das áreas avaliadas. Dentre estas, destaca-se a área de ILP que propiciou uma distribuição mais equilibrada das formas de carbono lábeis (F1) e recalcitrantes (F4) no solo em comparação a área de SPD, na ausência da braquiária.

4.3.5 Carbono e estoques de carbono das frações granulométricas da MOS

Quanto aos teores de COP, estes foram maiores na a área de Cerradão e ILP nos primeiros 10,0 cm de profundidade. Para as profundidades de 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, a área de Cerradão apresentou menores teores de COP que as áreas cultivadas (Tabela 11).

Os teores de COP estão diretamente relacionados com o aporte de resíduos vegetais ao solo. Portanto, a área de Cerradão, apesar de ter maiores teores de COT (Figura 6, 0-5 cm), ela se assemelha à área de ILP em relação ao COP, demonstrando que nesta a utilização da braquiária junto ao cultivo do milho safrinha e também o uso das leguminosas (soja e feijão) propicia, por meio do sistema radicular, da palhada e da fixação biológica de N, aporte de material vegetal de melhor qualidade ao solo quando comparado com a área de Cerradão. Para a profundidade de 0,0-5,0 cm, os teores de MOL (Tabela 12) foram maiores na área de Cerradão, com 15,12 g kg⁻¹ e, na área de ILP, 7,14 g kg⁻¹. Na profundidade de 5,0-10,0 cm, as áreas não apresentaram diferenças, com teores de 3,88 g kg⁻¹ na área de Cerradão e 3,44 g kg⁻¹ na área de ILP. Em quantidade, a área de Cerradão tem maiores teores de MOL (0,0-5,0 cm), entretanto, no Cerradão têm-se apenas plantas C₃ e na área de ILP, no momento da coleta das

amostras, plantas C₄ (milho + braquiária) e também C₃ (soja e feijão). Portanto, os teores de COp da área de ILP estão relacionados com a qualidade do material vegetal que se equipara com a quantidade de MOL da área de Cerradão. Este padrão também pode ser observado para os estoques de COp, pois na profundidade de 0,0-5,0 cm, as áreas de ILP e Cerradão apresentaram valores iguais e, para a profundidade de 5,0-10,0 cm, onde os teores de MOL foram iguais entre as áreas, tem-se maiores estoques de COp para a área de ILP. Destaca-se na profundidade de 5,0-10,0 cm, que os maiores teores e estoques de COp na área de ILP também estão relacionados com os maiores teores de C-MOL.

Tabela 11. Frações granulométricas da MOS nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas avaliados	Frações granulométricas de carbono (g kg ⁻¹)			
	COp	COam	EstCOp	EstCOam
0,0-5,0 cm				
SPD	21,19 B	6,92 B	7,29 B	2,37 B
ILP	23,63 A	7,10 B	8,13 A	2,44 B
Cerradão	24,88 A	30,99 A	8,56 A	10,64 A
CV(%)	3,35	10,95	4,55	10,59
5,0-10,0 cm				
SPD	6,90 B	17,39 A	4,87 C	6,42 A
ILP	13,08 A	17,27 A	7,91 A	6,45 A
Cerradão	12,20 A	13,02 B	6,76 B	4,48 B
CV(%)	4,99	8,16	4,47	8,29
10,0-20,0 cm				
SPD	4,81 B	18,99 A	7,74 B	14,34 B
ILP	8,49 A	19,67 A	8,58 A	17,54 A
Cerradão	3,55 C	18,49 A	6,07 C	14,43 B
CV(%)	6,54	11,74	5,30	11,14
20,0-40,0 cm				
SPD	7,56 A	10,14 B	14,37 A	20,37 B
ILP	7,89 A	10,02 B	14,06 A	20,15 B
Cerradão	3,99 B	14,10 A	7,31 B	25,78 A
CV(%)	10,57	6,60	12,07	9,59
0,0-40,0 cm				
SPD	-----	-----	34,27 B	43,50 B
ILP	-----	-----	38,68 A	47,34 B
Cerradão	-----	-----	28,70 C	55,33 A
CV(%)			11,07	13,59

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. COp=carbono orgânico particulado; COam=carbono orgânico associado aos minerais. CV=coeficiente de variação.

Em relação às áreas cultivadas, a área de ILP apresentou maiores teores de COp que a área de SPD até os 20,0 cm de profundidade, sendo para 20,0-40,0 cm, observado valores de COp iguais entre as áreas e, para a camada de 0,0-40,0 cm, a área de ILP apresentou maiores estoques de COp entre as três áreas. Estes resultados indicam que o consórcio do milho com a braquiária, na ILP, está acarretando em maior aporte de material vegetal (sistema radicular do milho + braquiária) ao solo quando comparado com a área de SPD (até os 20,0 cm de profundidade) e também ao Cerradão. Entretanto, na profundidade de 20,0-40,0 cm, assim

como foi observado para os teores e estoques de COT, os sistemas se equiparam. Este padrão é decorrente do uso do milheto no SPD e do milho+ braquiária no sistema de ILP.

Avaliando a dinâmica da MOS em áreas de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo, em SPD no Cerrado goiano, Rossi (2009) encontrou maiores teores de COp na área de soja cultivada sobre palhada de braquiária até os 20 cm. Os resultados encontrados neste estudo, assim como os de Rossi (2009), indicam que a variação dos teores de COp é dependente da adição de resíduos vegetais ao solo, ou seja, o sistema de uso do solo com ILP está propiciando maior adição de resíduos na superfície do solo via palhada e, em profundidade, via sistema radicular até a camada de 20 cm quando comparado com o SPD. Dessa forma, tem-se aumento dos teores da fração leve da MOS (fração leve livre – Tabela 13 e MOL - Tabela 12), que resultam em aumento dos teores de COp.

Neste estudo verificou-se o mesmo padrão para os teores de COT (Tabela 6) e COp (Tabela 11) entre as áreas cultivadas, sendo observado maiores valores na área de ILP até a profundidade de 10,0-20,0 cm e valores iguais para a profundidade de 20,0-40,0 cm em comparação a área de SPD. Esta similaridade observada para os teores de COT e COp indica que o tempo de uso das áreas em sistema plantio direto (17 anos) é suficiente para que os teores de COT e COp evidenciem as mesmas diferenças frente ao manejo adotado (SPD e ILP), sendo portanto, considerados bons indicadores da qualidade do solo.

Em relação aos teores de COam, verificaram-se maiores valores para a área de Cerradão nas profundidades de 0,0-5,0 e 20,0-40,0 cm, não sendo verificadas diferenças entre as áreas para a profundidade de 10,0-20,0 cm. Entre as áreas em cultivadas não foram constatadas diferenças em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 11).

Na área de Cerradão, os maiores estoques de COam podem ser decorrentes dos teores de COT que são maiores nos primeiros 5,0 cm, decrescendo nas demais profundidades. Para as áreas cultivadas, a ausência de diferenças entre as áreas pode ser devida ao pequeno efeito dos sistemas de manejo na ruptura e formação de microagregados ($< 53 \mu\text{m}$) em solos da ordem dos Latossolos (Latossolo Vermelho oxidico), cujo principal agente cimentante são os óxidos de ferro pouco cristalinos (Muggler et al., 1999; Pinheiro-Dick e Schwertmann, 1996).

Na profundidade de 5,0-10,0 cm, as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de COam quando comparadas com a área de Cerradão. Todas as áreas apresentam textura muito argilosa (Tabela 4), sendo as diferenças verificadas para o COam impostas pelo manejo. Portanto, nas áreas cultivadas, a utilização de rotação de culturas, com plantas C_3 e C_4 , como o milheto no SPD e a braquiária na ILP, pode estar acarretando, juntamente com os óxidos da fração argila (Fe e Al), melhor condição de formação de microagregados $< 53 \mu\text{m}$ quando comparada com a área de Cerradão. Com maiores proporções de microagregados $< 53 \mu\text{m}$, tem-se também maiores teores de COam protegido nestes.

Para os estoques de COp foram verificados maiores valores na área de ILP em todas as profundidades avaliadas e também para a camada de 0,0-40,0 cm, não sendo verificadas diferenças para a profundidade de 0,0-5,0 cm, entre as áreas de ILP e Cerradão e para a profundidade de 20,0-40,0 cm, entre as áreas cultivadas. Estes resultados indicam que a utilização do sistema de ILP está propiciando maiores aportes de material vegetal ao solo quando comparada com a área SPD (sem braquiária) e de Cerradão (em profundidade). Com exceção à profundidade superficial do solo, as áreas cultivadas apresentaram maiores estoques de COp que a área de Cerradão, indicando que a utilização do milheto no SPD e da braquiária no sistema de ILP, está sendo mais eficiente para aumentar a fração leve (resíduos orgânicos em profundidade) no solo quando comparado com a área de Cerradão.

Em relação aos estoques de COam, verificou-se padrão semelhante aos teores de COam para todas as áreas e profundidades, com exceção à profundidade de 10,0-20,0 cm, onde a área de ILP apresentou os maiores estoques (Tabela 11). Estes resultados podem ser decorrentes dos estoques de COT que são maiores nesta área (Tabela 6). Para a camada de

0,0-40,0 cm, a área de Cerradão apresentou maiores valores de estoques de COam que as áreas cultivadas. Entretanto, este mesmo padrão não foi observado para os estoques de COT, onde a área de ILP apresentou teores iguais aos da área de Cerradão (Tabela 6). Estas divergências podem ser devidas as proporções dos estoques de COP e COam que compõem os estoques de COT. Para a área de ILP, os 17 anos de uso (parte em SPD e parte em ILP) já são suficientes para que os estoques de COT sejam iguais ao da área original (Cerradão). Todavia, do total do estoque de COT da área de ILP, 55% é referente ao COam e 45% ao COP e, do total do estoque de COT da área de Cerradão, 65% é referente ao COam e 35% ao COP. Dessa forma, os maiores estoques de COam na área de Cerradão, para a camada de 0,0-40,0 cm, são devidos a maior proporção do COam em comparação ao COP.

Segundo Figueiredo et al. (2010), que estudaram a dinâmica das frações lábeis e estáveis da MOS sob sistemas de manejo e Cerrado nativo, há uma correlação negativa entre COP e COam, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. Ou seja, para que se tenha maiores teores de COam no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos silte e argila. Este padrão pode ser observado na área de Cerradão que apresentou os menores estoques de COP e, conseqüentemente, os maiores de COam na camada de 0,0-40,0 cm (Tabela 11), indicando que parte dos estoques de COP foram decompostos para formar os estoques de COam.

De maneira geral, a ausência de diferenças entre as áreas cultivadas para os teores e respectivos estoques de COam e, o padrão contrário a este apresentado para os teores e estoques de COP permitem inferir que o COP apresenta maiores taxas de estratificação em solo sob sistema plantio direto (SPD e ILP) quando comparado com o COam (Sá e Lal, 2009). E, esta estratificação dos resíduos vegetais, tanto em superfície como em profundidade, tem maior destaque para a área de ILP, que apresentou os maiores teores e estoques de COP em comparação a área de SPD.

4.3.6 Matéria orgânica leve (MOL) em água e teores de C e N da MOL

Os maiores valores de massa de MOL foram encontrados na área de Cerradão na profundidade de 0,0-5,0 cm, não sendo observadas diferenças entre as áreas de SPD e ILP. Já para a profundidade de 5,0-10,0 cm, a área de ILP apresentou valores iguais aos da área de Cerradão, sendo verificado o menor valor de MOL para a área de SPD (Tabela 12).

Estes resultados demonstram que no Cerradão há maior aporte de material vegetal (serapilheira) quando comparado com as áreas cultivadas (0,0-5,0 cm). Entretanto, na profundidade de 5,0-10,0 cm, na área de ILP, ocorreu maior aporte de resíduos vegetais em subsuperfície via rizo-deposição e renovação do sistema radicular. Esse aporte equiparado com a quantidade de serapilheira produzida na área de Cerradão foi mais eficiente que a área de SPD (com milho) para aumentar os teores de MOL no solo. Estes resultados corroboram os de Pereira et al. (2010), que encontraram maiores teores de MOL em áreas de SPD cultivadas com milho e soja sobre os resíduos vegetais da braquiária, quando comparados com o cultivo destas mesmas culturas sobre os resíduos de milho e crotalária, em solo de Cerrado, em Uberaba, MG.

Tabela 12. Matéria orgânica leve (MOL) em g kg⁻¹, carbono (C) e nitrogênio (N), g kg⁻¹, relação C/N e abundância natural de ¹⁵N (‰) e ¹³C (‰) da MOL nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Variáveis analisadas	Sistemas de uso do solo			CV(%)
	SPD	ILP	Cerradão	
0,0-5,0 cm				
Massa-MOL	7,44 B	7,24 B	15,12 A	5,81
C-MOL	314,01 B	323,35 B	356,62 A	4,99
N-MOL	17,90 ns	17,90 ns	16,11 ns	8,71
C/N-MOL	17,54 B	18,06 B	22,13 A	5,65
¹⁵ N (‰)-MOL	2,37 B	3,91 A	2,63 B	3,21
¹³ C (‰)-MOL	-24,06 B	-21,98 A	-29,01 C	4,22
5,0-10,0 cm				
Massa-MOL	1,98 B	3,44 A	3,88 A	4,11
C-MOL	278,10 B	307,25 A	324,60 A	5,31
N-MOL	16,05 A	15,55 A	13,45 B	4,70
C/N-MOL	17,32 C	19,76 B	24,13 A	6,55
¹⁵ N (‰)-MOL	2,78 B	3,98 A	2,37 B	4,28
¹³ C (‰)-MOL	-24,40 B	-22,64 A	-28,27 C	4,99

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. ns=não significativo pelo teste F a 5%. CV=coeficiente de variação.

Em relação aos teores de C-MOL, foi verificados maiores valores para a área de Cerradão na profundidade de 0,0-5,0 cm e, valores iguais aos da área de ILP na profundidade de 5,0-10,0 cm. Entre as áreas cultivadas, apenas na profundidade de 5,0-10,0 cm, observaram-se maiores valores de C-MOL para a de ILP. Estes resultados apresentaram o mesmo padrão para os teores de massa de MOL, indicando que para a área de ILP, que possui maiores quantidades de massa de MOL, tem-se maior fornecimento de substrato utilizado como fonte de energia para o crescimento microbiano. Este fato vai acarretar maior liberação de nutrientes por meio da ciclagem da biomassa microbiana, com conseqüente aumento dos teores de C-MOL e também do carbono total do solo e dos macronutrientes – N, P, K e Ca.

Para o N-MOL, na profundidade de 0,0-5,0 cm não foram constatadas diferenças (Teste F, p<0,05) e, na profundidade de 5,0-10,0 cm, as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de N-MOL quando comparadas com a área de Cerradão. Estes maiores teores de N-MOL nas áreas cultivadas podem ser decorrentes da deposição de material vegetal mais rico em nitrogênio, principalmente o nitrogênio oriundo da decomposição da palhada da braquiária (ILP) e do milheto (SPD), ambas gramíneas que conseguem extrair do solo os nutrientes em maior profundidade. E, estes nutrientes são liberados na superfície do solo via decomposição da palhada dessas gramíneas.

Para a relação C/N, a área de Cerradão apresentou os maiores valores, seguida da área de ILP na profundidade de 5,0-10,0 cm. Os maiores valores de C/N na área de ILP refletem na qualidade do resíduo, neste caso, da braquiária. Os maiores valores de C/N na área de Cerradão podem ser devidos ao menor grau de decomposição dos resíduos vegetais, que podem apresentar maiores proporções de compostos fenólicos e de celulose, com menores teores de N (Pillon et al., 2011).

Os valores de ¹³C (‰)-MOL refletem a vegetação de origem, sendo bem caracterizado na área de Cerrado, com menores valores isotópicos, sendo o sinal de -29,01 a -28,27 ‰, e na área de SPD, com valores intermediários de sinal -24,06 a -24,40 ‰. Onde, para plantas C₃ a

composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) varia de -24 a -34 ‰, enquanto que nas plantas C_4 , a composição em $\delta^{13}\text{C}$ é de -6 a -19 ‰ (Smith e Epstein, 1971). Portanto, na área de Cerradão o material vegetal é exclusivamente oriundo de plantas C_3 , enquanto que na área de SPD e ILP se tem uma mistura de plantas, sendo claramente observada a contribuição das plantas C_4 , destacando-se o milho e o milho no SPD e na área de ILP, o milho + braquiária. Ainda em relação ao ^{13}C (‰)-MOL, destaca-se que o sistema de ILP apresentou os maiores valores de ^{13}C -MOL, com o sinal variando de $-21,98$ a $-22,64$, o que permite inferir sobre maior contribuição das plantas C_4 no sistema de ILP (milho + braquiária) comparado ao SPD.

A abundância natural de ^{15}N -MOL apresentou valores pequenos em todas as áreas e nas duas profundidades avaliadas, sendo este padrão decorrente da menor decomposição da MOS (Piccolo et al., 1996). Normalmente, à medida que aumenta a decomposição da MOS e, também, aumenta a profundidade do solo, tem-se maiores valores de ^{15}N devido ao fracionamento do N por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação (Bustamante et al., 2004). Entretanto, ao comparar os valores de ^{15}N -MOL entre as áreas, verificou-se que a de ILP apresentou os maiores valores, o que pode estar relacionado com a adubação nitrogenada das culturas e também a lâncio na braquiária (Tabela 2), além do plantio de soja e feijão, ambas leguminosas.

4.3.7 Fracionamento densimétrico da MOS - Fração Leve Livre

A área de Cerradão apresentou os maiores valores de massa da fração leve livre (FLL), na camada de 0,0-5,0 cm e, valores iguais aos da área de ILP na camada de 5,0-10,0 cm (Tabela 13). Entre as áreas cultivadas, a área de ILP apresentou maiores valores de massa da FLL em comparação à área de SPD, nas duas camadas avaliadas. Os maiores valores de massa da FLL na área de Cerradão podem ser atribuídos à ausência da atividade antrópica no local e ao maior aporte de resíduos vegetais (serapilheira). Enquanto entre as áreas cultivadas, na ILP, o plantio de braquiária (fitomassa e sistema radicular) acarretou em maiores valores de massa da FLL quando comparado com a área de SPD, na ausência da forrageira.

Tabela 13. Fração leve livre (FLL, em g kg^{-1}), carbono e nitrogênio da FLL da MOS, em g kg^{-1} , nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Frações avaliadas					
	0-5 cm			5-10 cm		
	Massa-FLL	C-FLL	N-FLL	Massa-FLL	C-FLL	N-FLL
SPD	26,88 C	166,68 B	17,42 B	8,11 B	146,82 B	15,72 B
ILP	32,21 B	195,75 A	19,45 A	20,13 A	179,91 A	16,98 A
Cerradão	78,40 A	155,11 C	14,91 C	21,36 A	170,21 A	15,25 B
CV(%)	4,29	5,77	9,56	6,47	5,12	6,33

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV=coeficiente de variação.

Estudo semelhante foi realizado por Assis (2004) e Assis et al. (2006), que avaliaram os compartimentos orgânicos de um Latossolo Vermelho de textura média em Capinópolis – MG, em diferentes usos e manejos do solo. Os tratamentos consistiram de: sistema plantio direto (SPD) por 4 anos com sucessão milho (silagem)/soja; SPD por 4 anos com a sucessão milho/milho/milho/soja; SPD com 3 anos seguidos com tifton (feno) e soja no último ano; cerca de 30 anos com sistema de cultivo convencional (milho/soja), sendo apenas soja nos últimos 4 anos; e mata nativa como referência. As profundidades avaliadas foram de 0,0-5,0 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm. Os autores observaram que a área de mata nativa apresentou maiores valores de massa da FLL em todas as profundidades, sendo justificado pelo maior aporte de resíduos orgânicos. O mesmo resultado foi encontrado neste estudo, no qual a área de Cerradão apresentou os maiores valores de massa da FLL nas duas profundidades avaliadas.

As maiores proporções de massa da FLL na área de ILP podem estar relacionadas ao sistema radicular da braquiária (no momento da coleta das amostras, mediante a abertura da trincheira até 40,0 cm, observou-se uma boa distribuição do sistema radicular da braquiária). Verificou-se que esta gramínea apresentava um grande desenvolvimento do sistema radicular, podendo atingir também maiores profundidades. Após a morte destas raízes, todo este material permanece no perfil do solo, elevando assim, os teores de matéria orgânica do solo sob diversas formas, e como neste caso, sob a forma de FLL. Padrão semelhante também foi observado no estudo realizado por Assis (2004), no qual a autora verificou que a área com a presença do tifton apresentou maiores valores de FLL em profundidade (5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm), quando comparada às demais áreas em SPD. Este resultado justifica o potencial do consórcio e/ou rotação de gramíneas forrageiras, como o próprio tifton e, também, a braquiária, para o manejo de sistemas agrícolas, tais como a ILP.

Os maiores teores de C-FLL foram encontrados na área de ILP, na camada de 0,0-5,0 cm, e valores iguais aos da área de Cerradão na camada de 5,0-10,0 cm. Na camada superficial do solo, as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de C-FLL quando comparadas a área de Cerradão. Os maiores teores de C-FLL encontrados nas áreas cultivadas, na camada superficial, são decorrentes da utilização de plantas C₄ (gramíneas), enquanto no Cerradão têm-se apenas plantas C₃. Entre as áreas cultivadas, a ILP, por ter a braquiária consorciada com o milho (ambas C₄, no momento da coleta das amostras de terra) possui maiores teores de C-FLL quando comparada a área de SPD, que apesar de também ter em sua rotação o milho e o milheto, também C₄, difere da área de ILP no momento da coleta das amostras. Nesta época (coleta de terra para análise da FLL), no SPD, observou-se, como preponderante, o efeito apenas da cultura do girassol. Entre as áreas cultivadas, os maiores teores de C-FLL verificados na superfície e em subsuperfície na área de ILP reforçam a contribuição do sistema radicular das espécies forrageiras (gramíneas) nesses sistemas em subsuperfície e/ou redistribuição da MOS das camadas superficiais para camadas mais profundas (Pillon et al., 2011).

Para os teores de N-FLL, verificou-se dinâmica semelhante a do C-FLL, sendo encontrados os menores teores de N-FLL na área de Cerradão, na camada superficial, e para 5,0-10,0 cm, a área de Cerradão não diferiu da área em SPD, sendo os maiores teores de N-FLL verificados na área de ILP. Os menores teores de N-FLL na área de Cerradão podem ser devidos ao menor grau de decomposição dos resíduos vegetais, que podem apresentar maiores proporções de compostos fenólicos e de celulose, com menores teores de N. Já em profundidade, a oxidação de compostos orgânicos pelos microorganismos e os subprodutos da decomposição microbiana contribuem para os maiores teores de N-FLL (Pillon et al., 2011), sendo estes iguais aos da área em SPD.

Os maiores teores de N-FLL na área de ILP podem ser explicados pela grande capacidade de absorção e acúmulo desse nutriente que a braquiária possui (Crusciol e Borghi, 2007), sendo o mesmo liberado para o solo a partir da decomposição de sua palhada (resíduos vegetais que são quantificados como FLL).

4.4 CONCLUSÕES

O sistema de ILP, associado às adubações realizadas nas culturas e na braquiária, aumentou os teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COp), assim como os estoques de carbono da fração humina (C-HUM) e carbono da fração ácido húmico (C-FAH) (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm) quando comparado com a área de SPD. A área de ILP também apresentou maiores taxas de estratificação do COp em superfície e subsuperfície em comparação ao COam.

A utilização das gramíneas braquiária no sistema de ILP e milho no SPD, ambas sendo utilizadas como plantas de cobertura visando o aumento de palhada para o sistema plantio direto, apresentou a mesma eficiência em relação aos estoques de carbono das substâncias húmicas até 40 cm de profundidade. E, após 17 anos de uso, conseguem recuperar os estoques originais do solo, para o C-HUM, na camada de 0,0-40,0 cm.

O sistema de ILP apresentou distribuição mais equilibrada das formas de carbono lábeis (F1) e recalcitrantes (F4) no solo e maior grau de humificação da MOS em comparação a área de SPD.

O sistema de ILP aumentou a massa e os teores de carbono da matéria orgânica leve (MOL) em água e da fração leve livre (FLL) da MOS quando comparado ao SPD. Em relação ao Cerradão, o sistema de ILP apresentou valores iguais de massa e dos teores de carbono e nitrogênio da MOL (5-10 cm) e maiores valores de carbono e nitrogênio da FLL (0-5 cm).

Dentre os indicadores químicos avaliados, o COT, os estoques de C-FAH e o carbono oxidável apresentaram melhor capacidade de diferenciação da qualidade química da matéria orgânica do solo (MOS).

Dentre os indicadores físicos avaliados, o COp, a MOL e a FLL apresentaram melhor capacidade de diferenciação da qualidade física da MOS.

5 CAPÍTULO III:

AGREGAÇÃO, CARBONO MINERALIZÁVEL E TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS AGREGADOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

RESUMO

A Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em Sistema Plantio Direto (SPD) aumenta os índices de agregação do solo e os teores de carbono total, carbono mineralizável e nitrogênio total dos agregados do solo quando comparada com uma área de SPD, sem o uso de braquiária. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade dos agregados, a distribuição dos teores de carbono e nitrogênio e a abundância natural de ^{13}C e ^{15}N dos agregados e o fluxo de C-CO₂ (carbono mineralizável) em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras indeformadas de terra nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, em delineamento inteiramente casualizado. Avaliou-se a distribuição da massa dos agregados, o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados. Foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio (N), $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos agregados. Também foi avaliada a quantidade de C-CO₂ desprendida de cada amostra de agregados diariamente (até 37 dias) e, também, a respiração total de C-CO₂ acumulada. Antes e após a incubação dos agregados do solo (0-5 e 5-10 cm) foram quantificados os teores de COT, N e a relação C/N. A área de Cerrado apresentou os maiores valores de DMP, DMG. A ILP apresentou maiores valores de DMP, DMG, COT e N na camada 5-10 cm do que o SPD, na ausência da braquiária. A área de ILP apresentou maiores valores de C-CO₂ (0-5 cm) logo após a incubação quando comparada às demais áreas. Aos 7 dias após a incubação, nos três sistemas avaliados, observou-se um aumento (pico) de C-CO₂ e, a partir do 25º dia ocorreu a estabilização da respiração microbiana. Entre as áreas em SPD, a área de ILP apresentou maior acúmulo de C-CO₂ e maiores teores de COT, N (antes e depois da incubação) e, menor relação C/N, antes da incubação. Nas áreas cultivadas verificaram-se sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ relacionado as plantas de ciclo C₄ e na área de Cerradão, sinal isotópico de plantas de ciclo C₃. A ILP promoveu aumentos nos índices de agregação do solo (0-5 e 5-10 cm), nos teores de COT e N (0-5 cm), na formação de agregados estáveis em água (5-10 cm) e também maiores acúmulos de C-CO₂ quando comparado ao SPD, na ausência da braquiária. Houve incorporação de carbono nos agregados proveniente das gramíneas utilizadas nas rotações.

Palavras-chave: Milho + braquiária. Abundância natural de ^{13}C e ^{15}N . Atividade microbiana.

ABSTRACT

The Integration Agriculture and Cattle-Raising System (IACRS) associated to a No-Tillage System (NTS) increases soil aggregation indexes and concentration of total carbon, total nitrogen and mineralizable carbon of soil aggregates when compared with only NTS area, without brachiaria. The aim of this study was to evaluate aggregate stability aggregates, distribution of carbon and nitrogen and natural abundance ^{13}C and ^{15}N in aggregates, and also changes in C-CO₂ (carbon mineralization) in different land management systems in Cerrado region, Goiás State. Were evaluated two areas with crop rotation: IACRS (Brachiaria + corn / bean / cotton / soybean) and NTS (sunflower / millet / soy / corn). A Cerrado area with natural vegetation was taken as reference for the original soil. Undisturbed soil samples were taken at 0-5 and 5-10 cm depth, in a randomized design. There were evaluated the mass distribution of aggregates, mean weight diameter (MWD), and geometric mean diameter (GMD) of aggregates. The concentration of total organic carbon (TOC), nitrogen (N), and aggregates $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were measured. The amount of C-CO₂ detached from each sample daily (up to 37 days) and total respiration of C-CO₂ accumulated were also analyzed. Before and after incubation of soil aggregates (0 to 5 and 5 to 10 cm), the TOC, N and C/N were quantified. The Cerrado area showed the highest values of MWD and GMD. The IACRS area had higher MWD, GMD, TOC and N in 5-10 cm layer than the NTS without brachiaria. The IACRS area showed higher C-CO₂ (0-5 cm) immediately after incubation when compared to other areas. At 7 days after incubation, in the three systems, there was an increase (peak) of C-CO₂ and, after the 25th day the microbial respiration was stabilized. Comparing the cultivated areas, IACRS showed higher C-CO₂ accumulation and the highest TOC, N (before and after incubation), and lower C/N ratio, before incubation. In the cultivated areas it was observed an isotopic signal of $\delta^{13}\text{C}$ related to cycle C₄ plants, and in the Cerrado area, the isotopic sign of cycle C₃ plants. The IACRS increased the soil aggregation indexes (0 to 5 and 5 to 10 cm), the TOC and N (0 to 5 cm), and formation of water stable aggregates (5 to 10 cm), also higher C-CO₂ accumulations than the NTS area without brachiaria. There was incorporation of carbon in aggregates from grasses used in the crop rotations.

Key words: Corn + brachiaria. Natural abundance ^{13}C and ^{15}N . Microbial activity.

5.1 INTRODUÇÃO

O monocultivo e práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade, degradação do solo e dos recursos naturais. A reversão desse quadro pode ser conseguida por meio de tecnologias como o sistema de plantio direto (SPD), que contempla não só o revolvimento mínimo do solo, mas também a prática de rotação de culturas, e os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) (Moretti et al., 2007; Macedo, 2009).

O uso de pastagens em áreas degradadas de lavouras para melhorar as propriedades edáficas, pela presença de palha e raízes da pastagem, aumenta os teores de C e conduz a melhorias das condições de aeração e de capacidade de infiltração de água. Outro importante efeito da ILP é produção de pasto e forragens para a alimentação animal na estação seca e, nesse caso, há variações no país, em função do clima e dos solos. No conjunto, a ILP é fundamental para sustentabilidade e produtividade agropecuária, possibilitando redução de custos pelo menor uso de insumos e diversificação, da atividade agrícola e da pecuária, aumentando renda e diminuindo problemas ambientais (Gonçalves e Franchini, 2007).

A ILP em SPD é um sistema em que os benefícios aportados pelo SPD, tais como a manutenção da estrutura do solo e aumento dos teores de matéria orgânica, entre outros, são potencializados pela introdução de espécies forrageiras. De forma geral, estas forrageiras acumulam mais carbono do que as culturas agrícolas, cuja fitomassa se mostra, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (Carvalho, 2007; Embrapa, 2009).

Várias culturas têm sido utilizadas nos sistemas de ILP, entre as quais se destacam: soja, milho, milheto, sorgo, nabo forrageiro, girassol, algodão e gramíneas forrageiras tropicais, principalmente as braquiárias (*Urochloa* sp), consorciadas ou não. Entretanto, poucos experimentos de longa duração de rotação lavoura-pecuária em ecossistemas tropicais e subtropicais têm sido relatados (Macedo, 2009; Franchini et al., 2010). Assim, são necessários mais estudos deste sistema em relação às propriedades edáficas, com destaque nos teores de carbono e nitrogênio do solo e dos agregados.

Em áreas com rotação de culturas em SPD ocorre grande aporte de fitomassa vegetal ao solo, principalmente com uso de plantas de cobertura, como a braquiária, para aumentar a produção de palhada. No solo ocorrem diversas formas de carbono, tanto C mais prontamente disponível (Loss et al., 2009a,b) quanto formas mais recalcitrantes (Stevenson, 1994; Rangel et al., 2008), sendo todas dependentes da relação C/N dos materiais provenientes.

A taxa de decomposição do material orgânico e a conseqüente liberação de CO₂ são determinadas principalmente pelas características intrínsecas da própria matéria orgânica, tais como: relação C/N; teores de carboidrato, lignina; grau de agregação; características do solo (pH, teores de nutrientes e umidade) e características do ambiente (temperatura e precipitação) (Brookes, 1995; Davidson et al., 1998).

Quando se adiciona ao solo fonte de carbono, estimula-se a respiração microbiana. Este padrão é observado pela adição de carboidrato simples, por exemplo, glicose, que é uma molécula pequena e com ligações simples, facilmente decomponível e que pode ser submetida a uma rápida metabolização pela população microbiana do solo, conseqüentemente induz a liberação de CO₂ para a atmosfera (Farias et al., 2005).

A biomassa microbiana tem papel de destaque no cenário da sustentabilidade ambiental (Souza et al., 2010) e pode ser estimada por métodos relativamente simples. Dentre estes, destaca-se a evolução de C-CO₂ oriundo da respiração (atividade microbiana) de microrganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de compostos orgânicos (Kennedy e Smith, 1995; Assis Junior et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade dos agregados, a distribuição dos teores de C e N e a abundância natural de ^{13}C e ^{15}N dos agregados e o fluxo de C-CO₂ (carbono mineralizável) em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

5.2.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

5.2.3 Amostragem de solo

Para a coleta das amostras, realizadas em março de 2008, foi delimitada uma área de $\pm 600 \text{ m}^2$, sendo abertas quatro trincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área. Para análise da estabilidade dos agregados foram coletados blocos indeformados nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, com auxílio de espátula, nas mesmas trincheiras descritas acima, sendo cuidadosamente acondicionados em sacos plásticos e identificados. Os agregados do solo, coletados na faixa de friabilidade, foram manualmente separados até toda a amostra passar em um conjunto de peneiras de 8 e 4 mm, secos a sombra e armazenados para as análises de estabilidade em água e evolução do C-CO₂ em laboratório.

5.2.4 Análises realizadas

a) Estabilidade de agregados do solo

Para avaliação da distribuição de agregados estáveis em água foi utilizado o método da Embrapa (1997). Foram pesadas 25 g das amostras que ficaram retidas na peneira de 4 mm. Posteriormente as amostras foram transferidas para um jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, umedecidas com pulverizador, sendo submetido à agitação vertical no aparelho de Yooder (Yooder, 1936), durante 15 min. Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado em placas de Petri, secadas em estufa a 60°C, até que atingissem massa constante. Após a secagem, obteve-se a massa dos agregados retida em cada peneira. Com os dados de massa seca dos agregados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados. Por meio da massa dos agregados avaliou-se a distribuição dos agregados por classes de diâmetro médio (de $8,0 \geq X > 2,0 \text{ mm}$, de $2,0 \geq X > 1,0 \text{ mm}$, de $1,0 \geq X > 0,5 \text{ mm}$, de $0,5 \geq X > 0,25 \text{ mm}$ e de $0,25 \geq X > 0,105 \text{ mm}$).

b) Determinação dos teores de carbono e nitrogênio nos agregados

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) total dos agregados do solo (0-5 cm) foram determinados pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália). Esta determinação do percentual de COT e N foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba. Com dados de COT e N, calculou-se a relação C/N. Foram utilizados os agregados compreendidos entre as classes de $8,0 \geq X > 2,0 \text{ cm}$, de $2,0 \geq X > 1,0 \text{ cm}$, de $1,0 \geq X > 0,5 \text{ cm}$, de $0,5 \geq X > 0,25 \text{ cm}$ e de $0,25 \geq X > 0,105 \text{ cm}$.

c) Determinação da origem do carbono e nitrogênio nos agregados

As medidas de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (0-5 cm) foram avaliadas com uso de um espectrômetro de massa (Finnigan Mat Delta Plus, Alemanha) do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba. Foram utilizados os agregados compreendidos entre as classes de $8,0 \geq X > 2,0 \text{ cm}$, de $2,0 \geq X > 1,0 \text{ cm}$, de $1,0 \geq X > 0,5 \text{ cm}$, de $0,5 \geq X > 0,25 \text{ cm}$ e de $0,25 \geq X > 0,105 \text{ cm}$.

d) Incubação de agregados para avaliação da evolução de CO₂ (carbono mineralizável)

O experimento de incubação foi montado no laboratório em outubro de 2009. As amostras dos agregados, secas ao ar, foram reumedecidas (Gonçalves et al., 2002) por pulverização com água, duas vezes ao dia (manhã e noite) durante duas semanas. Em seguida foi determinada a capacidade de campo segundo o método do funil. Para tal, pesaram-se 30 g de agregados, colocando-as num funil de plástico com 10 cm de diâmetro, vedado com lã de vidro na base, para evitar perda de material. Posteriormente, os agregados foram saturados com água deionizada. Os funis foram cobertos com filme plástico para minimizar perdas de água por evaporação e assim permaneceram por 4-6 horas para drenagem do excesso de água. Em seguida, cerca de 5 g de cada amostra de agregados foram secas em estufa a 105 °C até obter-se massa constante. A capacidade de campo foi determinada utilizando a seguinte equação: $CC = P1 - P2 / P2$; onde, CC.= capacidade de campo; P1= peso da amostra de solo úmida (g); P2= peso da amostra de solo seca (g).

Para a avaliação do C-CO₂ em laboratório, utilizou-se o método proposto por Mendonça e Matos (2005). Foram pesados 50 g de agregados que ficaram acondicionados na peneira de 4,00 mm e colocados em recipientes de vidro de 500 cm³, com fechamento hermético, sendo a umidade do solo ajustada para 65 % da capacidade de campo. A cada recipiente foi adicionado um frasco contendo 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol. L⁻¹, para capturar o C-CO₂ e outro contendo 30 mL de H₂O (para manter a umidade constante).

As coletas foram feitas em intervalos de 24 h nos primeiros 7 dias, de 48 h entre o 8° e o 17° dia e de 96 h entre o 18° e 37° dia. Ao abrir os recipientes, retirou-se o frasco contendo NaOH, tomando-se o cuidado para deixar cada recipiente contendo o solo, aberto por 15 minutos para que ocorra a troca do ar (mantendo este tempo uniforme para todas as amostras). Decorrido o tempo, colocou-se outro frasco contendo 30 mL de NaOH 0,5 mol. L⁻¹, e fechou-se hermeticamente o recipiente para nova incubação. Enquanto aguardou-se o tempo para a troca de ar, pipetou-se 10 mL da solução de NaOH (previamente incubada com o solo), para erlenmeyer de 125 mL, sendo em seguida adicionado 10 mL de solução de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ e três gotas de fenolftaleína 1 %, e logo em seguida titulou-se com HCl 0,25 mol L⁻¹.

O cálculo do C-CO₂ evoluído é apresentado em mg de C-CO₂/100 cm³ de solo (agregados), durante o intervalo utilizado no monitoramento da amostra. A equação para obter este valor é:

$$C - CO_2 \text{ (mg)} = (B - V) \times M \times 6 \times (V1/V2); \text{ onde:}$$

B= Volume de HCl gasto na titulação do branco

V= Volume de HCl gasto na titulação da amostra (mL)

6= Massa atômica do carbono (12) dividido pelo número de mols de CO₂ que reagem com o NaOH (2)

V1= Volume total de NaOH usado na captura do CO₂

V2= Volume de NaOH usado na titulação (mL)

Antes e após a incubação dos agregados do solo (0-5 e 5-10 cm) foi quantificado o COT (Yeomans e Bremmer, 1988) e o N (Tedesco et al., 1985) e calculada a relação C/N.

5.2.5 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo - tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com 4 repetições cada. Os sistemas de uso do solo avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no sistema de uso. Os resultados foram submetidos à análise de variância, aplicando o teste F e os valores médios, se significativos, comparados entre si pelo teste LSD-student a 5 %.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Índices de agregação e distribuição da massa de agregados estáveis em água

Em relação aos índices de estabilidade de agregados estáveis em água, DMP e DMG, verificou-se que, independentemente da profundidade, a área de Cerradão apresentou os maiores valores (Tabela 14). Este padrão é decorrente do maior aporte de material vegetal nesta área, pois esta se encontrava sob condição original do solo, sem interferência de qualquer forma de cultivo. Desta forma, ocorreu aumento dos teores e estoques de COT (Figura 10 e Tabela 6) e, conseqüentemente, aumento da agregação do solo. Os maiores teores de MOL (Tabela 12) e FLL (Tabela 13) encontrados na área de Cerradão (0-5 cm) corroboram o maior aporte de material vegetal nesta área, em comparação as áreas em SPD.

Tabela 14. Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados, em mm, nos diferentes sistemas de uso em Montividiu, Goiás.

Sistemas avaliados	Propriedades avaliadas / Profundidade			
	0-5 cm		5-10 cm	
	DMP	DMG	DMP	DMG
SPD	4,364 C	3,383 C	3,406 C	2,134 C
ILP	4,593 B	3,832 B	4,077 B	2,752 B
Cerradão	4,901 A	4,543 A	4,851 A	4,408 A
CV(%)	4,33	5,23	4,06	5,01

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV=coeficiente de variação.

Entre as áreas cultivadas, nas duas profundidades, a área de ILP apresentou maiores valores de DMP e DMG que a área de SPD, sem braquiária. Este padrão indica que o uso da braquiária (ILP) propiciou boa cobertura vegetal ao solo, o que impediu ou diminuiu a ação direta das gotas de chuva, mantendo mais uniforme a umidade e a temperatura do solo. Além disso, acarretou melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas e maior atividade microbiana, que contribuem para criar ambiente mais favorável à agregação do solo, quando comparado com a área de SPD, na ausência de braquiária. Estes resultados corroboram os de Salton et al. (2008), que avaliaram a agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Latossolo no Mato Grosso do Sul. Os autores observaram que os sistemas de manejo do solo com rotação de lavoura e pastagem (*Urochloa brizantha*) em SPD favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras, na ausência de braquiária.

Na área de ILP, nas profundidades de 0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm, verificou-se que há maiores valores de C-FAH (Tabela 9). Esta fração pode favorecer a formação dos agregados do solo (Fontana et al., 2010c; Loss et al., 2010b), culminando em agregados de maior tamanho e, conseqüentemente, maiores valores de DMP e DMG. Vários estudos têm focado o uso de materiais orgânicos para melhorar a agregação do solo, visto que as substâncias húmicas, principalmente os ácidos húmicos, têm efeito benéfico na estabilidade dos agregados do solo (Tisdall e Oades, 1982; Lynch e Bragg, 1985; Fortun et al., 1990; Piccolo e Mbagwu, 1994). Segundo Bastos et al. (2005), uma molécula com caráter acentuado tanto hidrofóbico quanto hidrofílico, como o ácido húmico, é capaz de aumentar a agregação do solo sem a influência de outros compostos de maior ou menor grau de hidrofobicidade.

Em relação à distribuição da massa dos agregados estáveis, observou-se que, na profundidade de 0-5 cm, a área de Cerradão apresentou maiores valores na classe de 2,00 mm

quando comparada com as áreas cultivadas (Figura 11). Estas não apresentaram diferenças para a classe de 2,00 mm na camada de 0-5 cm. Este padrão evidencia a eficiência das gramíneas (braquiária na área de ILP e milho no SPD) na formação de agregados estáveis. Nas demais classes de agregados, ainda para a profundidade de 0-5 cm, a área de Cerradão apresentou valores iguais aos da área em ILP, diferindo apenas da área em SPD. Na profundidade de 5-10 cm, os maiores valores de massa de agregados foram encontrados na área de Cerradão, independente da classe de diâmetro avaliada. Entre as áreas cultivadas, os maiores valores de massa de agregados foram verificados para a área de ILP (5-10 cm).

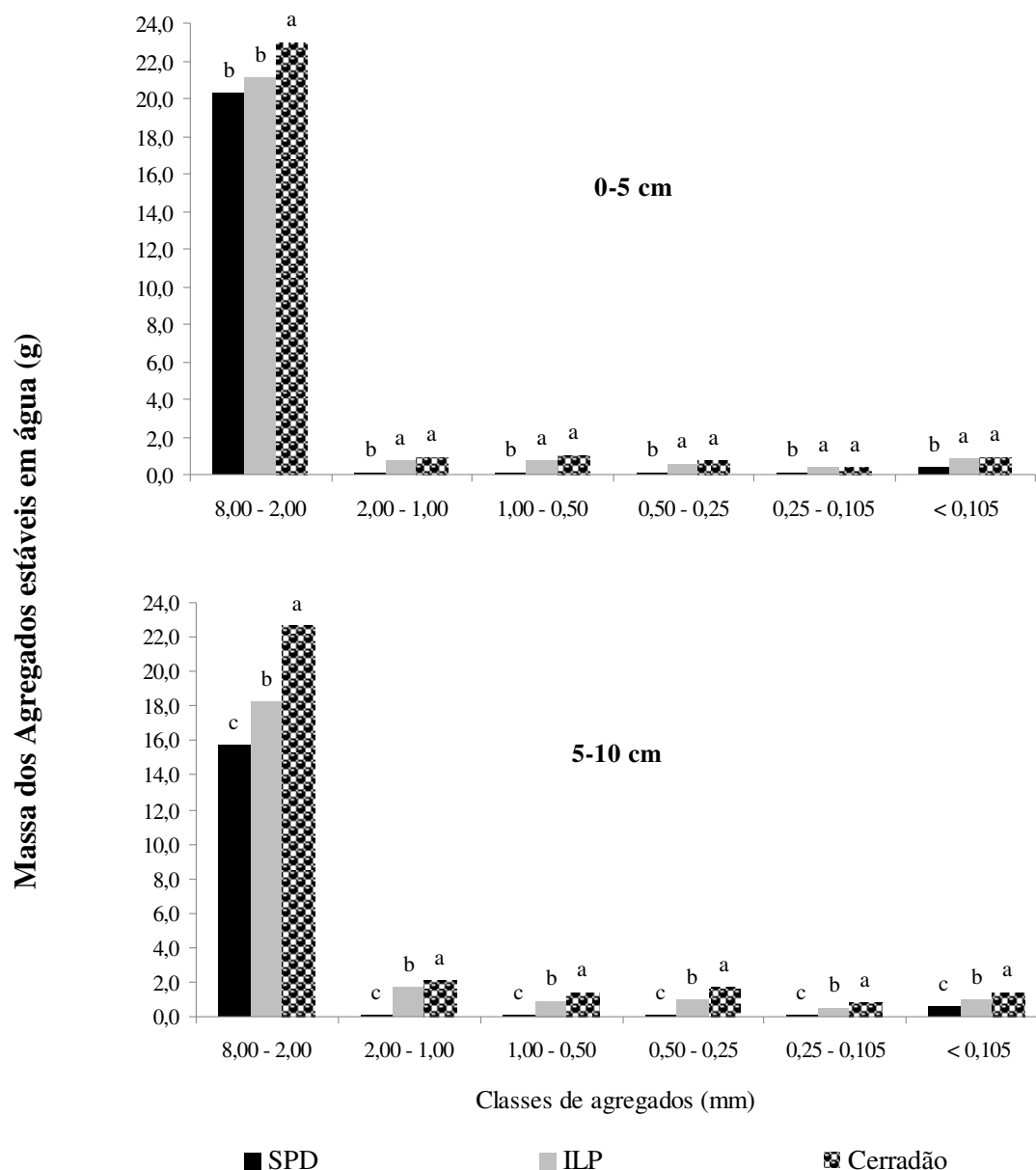


Figura 11. Distribuição dos agregados estáveis em água por classe de diâmetro nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, Goiás. Médias, de quatro repetições, seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t-LSD a 5%.

A maior massa de agregados na peneira de 2,00 mm pode ter decorrido da ação de raízes (Six et al., 2004; Szakas, 2007) e hifas de fungos (Denef e Six, 2003), tanto na área de Cerradão quanto nas áreas em SPD, beneficiando a formação de agregados de maior tamanho

e maior estabilidade (Coutinho et al., 2010). Entre as áreas de SPD e ILP, os maiores valores de massa de agregados encontrados na ILP podem ter sido decorrentes do efeito agregante do sistema radicular da braquiária, propiciando formação de agregados mais estáveis em água quando comparado à área de SPD sem braquiária (Salton et al., 2008; Kasper et al., 2009).

Na profundidade de 5-10 cm, os maiores valores de massa de agregados na área de ILP (Figura 11), quando comparados com a área em SPD, podem estar relacionados indiretamente aos teores de MOL, ou seja, tem mais raízes (braquiária) que estão agregando e essa maior quantidade de raízes reflete nos maiores valores de MOL e C-MOL (Tabela 12), já que raízes são uma matéria orgânica recente no solo. Segundo Deneff et al. (2007), a entrada de resíduos vegetais (MOL) estimula a reciclagem (manutenção) de agregados > 0,25 mm, os quais são importantes para a estabilização da MOS ao longo do tempo. Portanto, a agregação do solo foi beneficiada na ILP pela maior quantidade de raízes da braquiária, culminando em maiores teores de MOL, o que acarreta maiores índices de DMP e DMG (Tabela 14) quando comparado com o SPD, na ausência da braquiária.

Desta forma, a área de ILP, que tem maior agregação do solo (DMP e DMG), promoveu a mitigação de CO₂, ao conferir melhor proteção contra decomposição do C orgânico (Izakács, 2007). A maior massa de agregados >0,25 mm na ILP (5-10 cm) também sugere maior proteção do C orgânico contra a decomposição microbiana (Six et al., 2000).

5.3.2 Carbono mineralizável (C-CO₂) nos agregados do solo

A área de ILP apresentou maiores valores de C-CO₂ (0-5 e 5-10 cm) logo após a incubação quando comparada às demais áreas (Figura 12).

A atividade microbiana responde rapidamente a mudanças nas condições do solo após longos períodos de baixa atividade. Portanto, logo que se restabeleceu a umidade (reumedecimento dos agregados) ocorreu aumento na respiração e mineralização do C e do N da MOS (Brookes, 1995). O maior pico de C-CO₂ liberado pela área de ILP pode ser devido à maior disponibilidade de MOS rica em frações mais lábeis, uma vez que esta área apresentou a menor relação C/N entre as áreas avaliadas antes da incubação (Tabela 15). Desta forma, tem-se MOS mais prontamente disponível para a microbiota do solo. As áreas de Cerradão e de SPD apresentaram padrão semelhante logo após a incubação (1º dia) (Figura 12).

Com a maior disponibilidade de MOS para a microbiota do solo, verificou-se que a área de ILP apresentou evolução de C-CO₂ cerca de sete vezes superior ao das outras áreas. Este padrão já foi relatado na literatura e é conhecido como efeito “*priming*”, em que a estimulação da atividade microbiana pela adição de resíduos orgânicos e/ou maior disponibilidade de MOS prontamente decomponível (menor relação C/N) favorece a aceleração da decomposição da MOS (Kuzyakov et al., 2000), aumentando a evolução de C-CO₂. Para as áreas de SPD e de Cerradão, a natureza mais recalcitrante da MOS (maior relação C/N) e o menor conteúdo de C-prontamente oxidável promovem a atividade microbiana num patamar menos elevado.

Observando-se a dinâmica da evolução do C-CO₂ no tempo de incubação, aos 7 dias, nos três sistemas avaliados, ocorreu aumento (pico) de C-CO₂, sendo maior para a área de Cerradão, seguida das áreas em ILP e SPD e, a partir do 25º dia ocorreu a estabilização da respiração microbiana (Figura 12). Estes resultados são corroborados por Farias et al. (2005), avaliando a evolução do C-CO₂ de Latossolo Vermelho-Amarelo até 65 dias de incubação. Os autores observaram que entre o 25º e 30º dia ocorreu a estabilização da atividade microbiana.

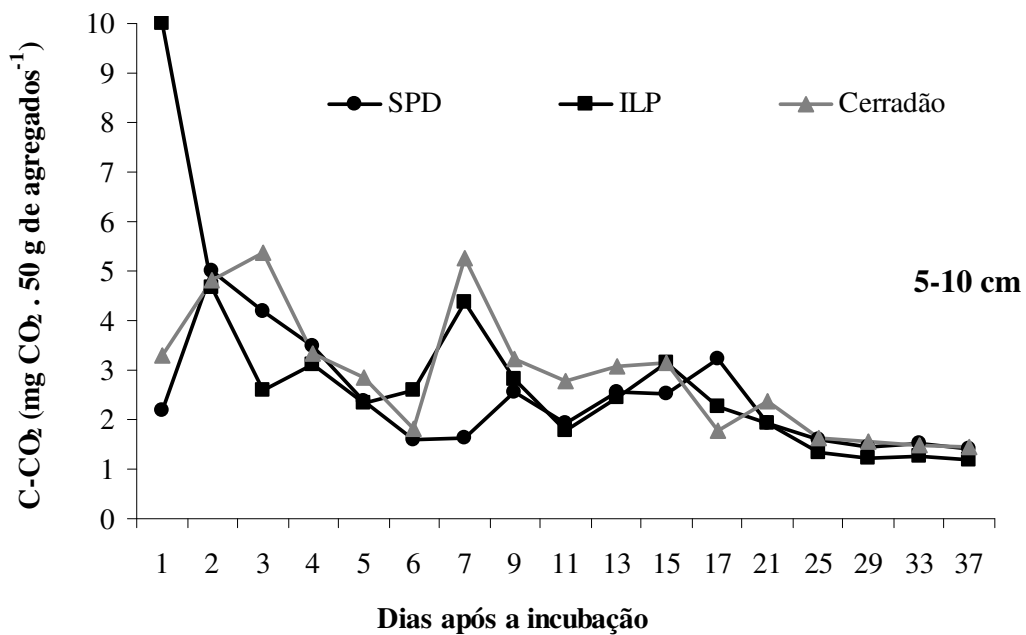
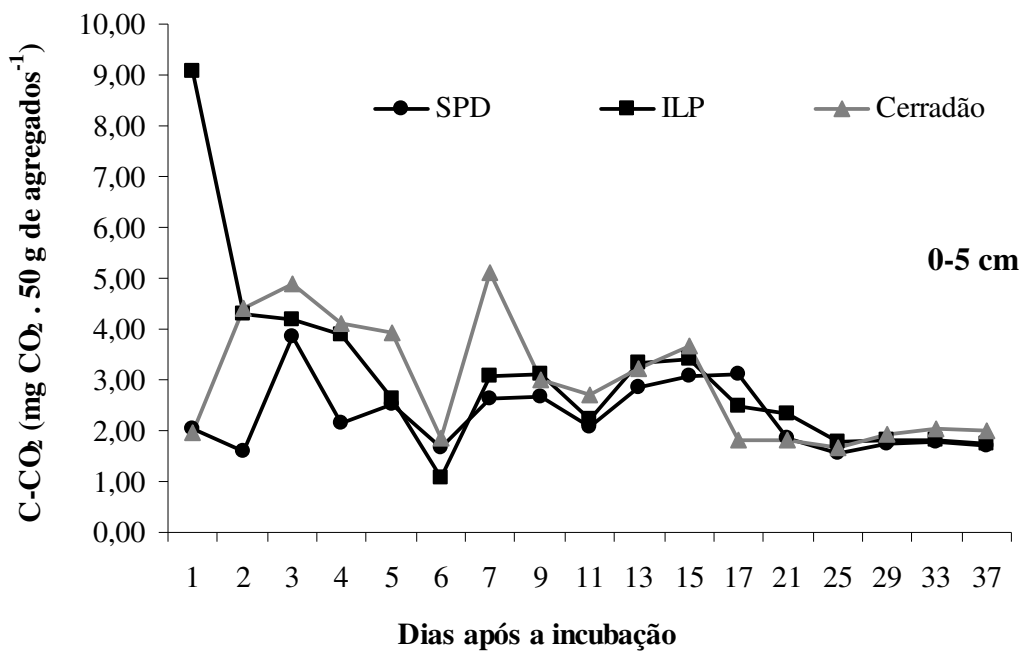


Figura 12. Evolução diária de C-CO₂ nas amostras de agregados (profundidade de 0-5 e 5-10 cm) incubados até os 37 dias de avaliação, nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiui, Goiás.

Tabela 15. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N) e relação C/N antes e após a incubação dos agregados do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Agregados do solo	Sistemas de uso do solo			CV(%)
	SPD	ILP	Cerradão	
COT (0,0-0-5,0 cm)				
Antes da incubação	22,24 aC	24,57 aB	40,71 aA	5,45
Após a incubação	23,25 aC	25,53 aB	35,29 bA	6,25
CV(%)	9,21	10,25	6,81	
COT (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	21,66 aB	21,42 aB	28,11 aA	6,21
Após a incubação	21,43 aB	19,56 aB	25,38 bA	7,33
CV(%)	11,23	12,35	6,99	
N (0,0-0-5,0 cm)				
Antes da incubação	2,84 aB	4,41 aA	4,32 bA	7,26
Após a incubação	3,36 aB	3,80 bB	5,59 aA	7,89
CV(%)	8,26	6,31	5,25	
N (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	2,23 aB	2,71 aA	2,96 bA	8,23
Após a incubação	2,27 aC	2,70 aB	3,87 aA	6,25
CV(%)	8,88	9,52	4,23	
C/N (0,0-0-5,0 cm)				
Antes da incubação	7,83 aB	5,57 aC	9,42 aA	4,23
Após a incubação	6,92 aA	6,72 aA	6,31 bB	5,61
CV(%)	8,55	9,23	8,21	
C/N (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	9,71 aA	7,90 aB	9,50 aA	6,32
Após a incubação	9,44 aA	7,24 aB	6,56 bC	5,22
CV(%)	9,57	8,59	7,25	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre os sistemas avaliados, para cada período de incubação, pelo teste t-LSD a 5% e, mesma letra minúscula na coluna não difere entre o período de incubação, para cada sistema avaliado, pelo teste t-LSD a 5%. CV=coeficiente de variação.

O maior acúmulo de C-CO₂ (maior atividade biológica) ocorreu na área de Cerradão e na área de ILP (0-5 cm). Na profundidade de 5-10 cm, a área de Cerradão apresentou o maior acúmulo de C-CO₂, seguida das áreas em ILP e SPD, respectivamente (Tabela 16). Estes maiores acúmulos de C-CO₂ estão diretamente relacionados ao aporte de material vegetal nas áreas, sendo constatados maiores teores de COT e N nas áreas de Cerradão e de ILP, em comparação aos teores encontrados na área de SPD (Tabela 15).

Na Tabela 15, observou-se uma tendência de aumento para os teores de COT (0-5 cm) após a incubação para as áreas em SPD e ILP, sendo na área de Cerradão observado o inverso, com valores de COT estatisticamente menores após a incubação (0-5 e 5-10 cm). Para o N, a área de Cerradão apresentou maiores teores após a incubação (0-5 e 5-10 cm) e as áreas em SPD e ILP não diferiram entre as épocas de incubação, com exceção da área de ILP, que apresentou menores teores de N na profundidade de 0-5 cm, após a incubação.

Tabela 16. Acúmulo* de C-CO₂ (mg CO₂ 50g de agregados⁻¹) durante todo o período de incubação dos agregados do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Camada avaliada (cm)	Sistemas de uso do solo			
	SPD	ILP	Cerradão	CV(%)
0,0-5,0	78,49 B	95,08 A	92,87 A	12,23
5,0-10,0	77,55 C	82,60 B	88,83 A	11,25

*Médias de quatro repetições. Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD (p < 0,05). CV=coeficiente de variação.

A tendência do aumento de COT após a incubação nas áreas cultivadas, pode ser devido ao ataque dos microorganismos a formas de C mais estáveis, que estavam protegidas no interior dos agregados. Avaliando a evolução de C-CO₂ de solos de várzeas no Sul da China, Zang et al. (2006) realizaram o fracionamento isotópico da MOS antes e após a incubação do solo. Os autores observaram que com o aumento do tempo da incubação, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tiveram um enriquecimento isotópico, sendo este padrão atribuído ao ataque de formas de C mais estáveis pela atividade microbiana. Provavelmente, na área de Cerradão, a maior disponibilidade de material vegetal oriundo da própria vegetação (MOL e FLL), que foi incubado juntamente com os agregados, serviu de alimento para os microorganismos, sendo desta forma, verificado um decréscimo dos teores de COT após a incubação.

De forma geral, os maiores picos (Figura 12) e acúmulos de C-CO₂ (Tabela 16) verificados na área de ILP quando comparada a de SPD, permitem inferir que há maior quantidade de carbono potencialmente mineralizável na área de ILP. Esse padrão irá acarretar maior ciclagem de carbono e nutrientes para as culturas comerciais implantadas (D'Andréa et al., 2002). Essas diferenças estão diretamente relacionadas com a intensa ciclagem de raízes no sistema de ILP, devido ao uso da braquiária.

5.3.3 Distribuição dos teores de carbono e nitrogênio nos agregados do solo

Os maiores teores de C e N foram encontrados na área de Cerradão, independente da classe de agregado avaliada (Tabela 17). Este padrão está relacionado à intensa deposição de resíduos vegetais (serapilheira) e a ausência de influência antrópica nesta área.

Entre as áreas cultivadas, a ILP apresentou maiores teores de COT, com exceção a classe de 0,25 mm, que não apresentou diferenças, e N, com exceção das classes de 2,00 e 0,25 mm onde não foram observadas diferenças, em comparação a área de SPD, na ausência de braquiária. Os maiores teores de COT e N encontrados na área de ILP podem ser decorrentes do uso da braquiária, pois esta propicia a deposição de resíduos culturais de maior relação C/N, acarretando em uma degradação mais lenta, favorecendo o acúmulo de COT e N nos agregados do solo. Portanto, a ILP está sendo mais eficiente em aumentar os teores de COT e N nos agregados do solo quando comparada com o SPD, na ausência da ILP.

Entre as classes de agregados, o SPD não apresentou significância (Teste F<0,05) para COT e N. Já para a ILP, observaram-se maiores teores de COT e N para a classe de maior diâmetro (2,00 mm), sendo que para N, não foram verificadas diferenças entre as demais classes de agregados. Para o COT, nas classes de 1,00 e 0,50 mm observaram-se os maiores teores quando comparadas às classes de 0,25 e 0,105 mm. A área de Cerradão também apresentou padrão semelhante ao da área com ILP, ou seja, com maiores teores de COT e N nos macroagregados (>0,25 mm) e menores nos micro (<0,25 mm) (Tabela 17).

Tabela 17. Carbono orgânico total, nitrogênio, relação C/N e $^{15}\text{N}(\text{‰})$, em agregados coletados na profundidade de 0-5 cm, nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Classes de agregados (mm)					CV(%)
	8,00-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	
	Carbono orgânico total (g kg⁻¹)					
SPD	30,30 C ^{ns}	26,49 C ^{ns}	23,83 C ^{ns}	22,61 B ^{ns}	23,62 C ^{ns}	11,21
ILP	36,92 Ba	31,87 Bb	31,60 Bb	28,86 Bc	28,06 Bc	5,77
Cerradão	51,68 Aa	54,95 Aa	44,61 Ab	52,46 Aa	36,06 Ac	6,21
CV(%)	7,86	8,62	11,66	22,39	10,07	
	Nitrogênio (g kg⁻¹)					
SPD	2,29 B ^{ns}	1,69 C ^{ns}	1,64 C ^{ns}	1,44 B ^{ns}	1,54 C ^{ns}	22,31
ILP	2,48 Ba	2,05 Bb	2,04 Bb	1,91 Bb	1,89 Bb	6,49
Cerradão	3,64 Aab	3,67 Aa	3,22 Abc	3,18 Ac	2,59 Ad	10,13
CV(%)	12,39	9,14	12,55	19,40	11,32	
	Relação C/N					
SPD	14,81 Ab	15,73 Aa	15,86 Aa	15,81 Aa	15,43 Aa	6,21
ILP	14,79 Ac	15,48 Aa	15,44 Ba	15,10 Bb	14,82 Ac	0,92
Cerradão	14,12 B ^{ns}	14,75 B ^{ns}	14,61 C ^{ns}	14,35 C ^{ns}	13,98 B ^{ns}	3,41
CV(%)	1,82	1,75	1,79	3,23	3,30	
	Abundância natural de $^{15}\text{N}(\text{‰})$					
SPD	5,50 ^{ns ns}	5,98 ^{ns ns}	6,22 A ^{ns}	5,99 ^{ns ns}	5,73 ^{ns ns}	9,85
ILP	5,91 ^{ns ns}	5,65 ^{ns ns}	5,80 A ^{ns}	6,01 ^{ns ns}	5,92 ^{ns ns}	5,51
Cerradão	6,21 ^{ns ns}	5,01 ^{ns ns}	4,68 B ^{ns}	5,03 ^{ns ns}	5,25 ^{ns ns}	12,03
CV(%)	12,10	9,19	7,73	9,11	10,76	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna não difere entre os sistemas de uso do solo para cada classe de agregados e, minúscula na linha não difere entre as classes de agregados para cada sistema avaliado, pelo teste de t-LSD a 5%. ns=não significativo pelo teste F (P<0,05). CV=coeficiente de variação.

Os maiores teores de COT e N nos agregados e a melhoria da qualidade física do solo (menores valores de Ds, Tabela 3, maiores valores de DMP e DMG, Tabela 14, e agregados maiores que 2,00 mm, Figura 11) na área de ILP, demonstram o potencial da ILP para reduzir o impacto ambiental das atividades produtivas. O que ocorre pela redução das emissões de gases de efeito estufa, propiciando maior estabilidade à produção das culturas anuais e melhorando o aproveitamento da água e nutrientes, conforme Franchini et al. (2010).

Quanto à relação C/N, foram observados menores valores na área de Cerradão, que podem ser explicados pelos maiores teores de N nesta área. Resultados divergentes foram encontrados por Passos et al. (2007a,b), em estudo que comparou os valores da relação C/N em agregados sob cultivo com milho durante 30 anos em áreas de Cerradão, em MG. Os autores verificaram maiores valores de C/N na área com milho, sendo este fato decorrente da qualidade do material vegetal adicionado (milho, C₄). No Cerradão, o sistema já está estável, com a relação C/N tendendo a ser mais próxima da biomassa microbiana.

As relações C/N das áreas cultivadas apresentaram valores semelhantes, com diferenças apenas nas classes de agregados de 1,00-0,50 e 0,50-0,25 mm, com maiores valores na área de SPD. Entre as classes de agregados, para área de Cerradão, a relação C/N não apresentou significância (teste F<0,05). Este padrão pode ser decorrente da maior estabilidade deste sistema natural, o que indica que o COT e o N variam em proporções relativamente iguais nas diferentes classes de diâmetros de agregados, como pode ser observado na Tabela 17.

Para as áreas cultivadas, entre as classes de agregados, em geral foram observados os menores valores para a classe de 2,00 mm, sem grandes variações para as demais classes de agregados. As menores relações C/N na classe de maior diâmetro são decorrentes dos maiores teores de COT, sendo este resultado corroborado por Passos et al. (2007a,b).

Para os teores de $\delta^{15}\text{N}$, verificou-se que apenas a classe de diâmetro 1,00-0,50 mm apresentou diferenças entre os sistemas de manejo, sendo os menores teores encontrados na área de Cerradão e, entre as áreas cultivadas não foram verificadas diferenças. Os maiores teores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nas áreas cultivadas podem ser decorrentes das transformações de N-orgânico em N-mineral e também da adição de adubos nitrogenados. Desta forma, conforme as reações de mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização ocorrem, a MOS restante torna-se enriquecida em átomos de $\delta^{15}\text{N}$ (Bustamante et al., 2004).

Ao avaliar o $\delta^{15}\text{N}$ de áreas de Cerradão e de Caatinga em solos da Chapada do Araripe, CE, Mendonça et al. (2010) observaram que os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ estavam associados à maior quantidade de MOS, tendo sido encontrados no solo de Cerradão. No solo da Caatinga, onde a superfície do solo apresentou menor conteúdo de matéria orgânica, encontraram-se os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, o que é um indicio de mineralização. Os resultados encontrados neste estudo corroboram os de Mendonça et al. (2010), pois com exceção da classe de agregados de 2,00 mm, observou-se que a área de Cerradão apresentou tendência de menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ e maiores de COT, enquanto nas áreas em SPD foi observado padrão contrário a este.

Os menores valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ foram encontrados na área de Cerradão (média de -26,79‰) quando comparados com as áreas cultivadas para todas as classes de agregados. Estes valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ são um indicativo da predominância de plantas de ciclo fotossintético C_3 . Nas áreas cultivadas não foram verificadas diferenças, sendo observado na área de SPD valor médio entre as classes de agregados de -17,50‰, enquanto para área de ILP, valor médio de -19,10‰ (Tabela 18). Os valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ encontrados nas áreas cultivadas são indicação de que houve uma mudança da vegetação original (Cerradão, plantas C_3 , com valores que variam entre -24 a -34 ‰) para vegetação de ciclo fotossintético C_4 , com valores entre -6 a -19 ‰.

Tabela 18. Abundância natural de ^{13}C (‰) em agregados coletados na profundidade de 0-5 cm, nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso do solo	Classes de agregados (mm)					CV(%)
	8,00-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	
SPD	-18,13 A ⁿ	-17,49 A ⁿ	-17,09 A ⁿ	-17,22 A ⁿ	-17,56 A ⁿ	11,22
ILP	-19,59 A ⁿ	-18,90 A ⁿ	-18,80 A ⁿ	-18,96 A ⁿ	-19,24 A ⁿ	12,23
Cerradão	-26,64 B ^{ns}	-26,90 B ^{ns}	-26,97 B ^{ns}	-26,77 B ^{ns}	-26,69 B ^{ns}	10,81
CV(%)	8,26	7,21	6,78	8,85	9,95	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna não difere entre os sistemas de uso do solo para cada classe de agregados e, minúscula na linha não difere entre as classes de agregados para cada sistema avaliado, pelo teste de t-LSD a 5%. ns=não significativo pelo teste F (P<0,05). CV=coeficiente de variação.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das áreas cultivadas foram significativamente maiores que os da área de Cerradão em todas as classes de agregados avaliadas. Estes resultados indicam que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ refletem a vegetação instalada, principalmente o uso de plantas de ciclo fotossintético C_4 , tais como o milho+braquiária na área de ILP e o milho e o milho na área de SPD. O padrão apresentado nas áreas cultivadas demonstra que houve incorporação de carbono nos agregados proveniente das gramíneas utilizadas nas rotações.

5.4 CONCLUSÕES

O sistema de ILP aumentou a agregação do solo, apresentando maiores índices de diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico dos agregados, e também maior massa de agregados estáveis em água, quando comparado ao SPD.

A área de Cerradão apresentou os maiores teores de carbono e nitrogênio em todas as classes de agregados avaliadas. E, entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP acarretou em maiores teores carbono e nitrogênio quando comparado ao SPD.

O sistema de ILP propiciou maiores picos e acúmulos de C-CO₂ quando comparado com a área de SPD, acarretando em maior quantidade de carbono potencialmente mineralizável na área de ILP.

O sistema de ILP apresentou acúmulo de C-CO₂ proveniente da incubação de agregados do solo por 37 dias igual à área de Cerradão, na profundidade de 0-5 cm.

Nas áreas cultivadas, houve incorporação de carbono nos agregados proveniente das gramíneas utilizadas nas rotações.

6 CAPÍTULO IV:

ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ABUNDÂNCIA NATURAL DE ^{13}C E ^{15}N NO PERFIL DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) aliado à Integração Lavoura-Pecuária (ILP) aumenta os estoques de carbono e nitrogênio do solo quando associado à utilização da braquiária junto à rotação de culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), abundância natural de ^{13}C e ^{15}N e quantificar os estoques de COT e N do solo em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de terra nas camadas de 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-30,0; 30,0-40,0; 40,0-50,0; 50,0-60,0; 60,0-80,0 e 80,0-100,0 cm. Foram quantificados os teores de COT, N, ^{15}N e ^{13}C e os estoques de COT e N. A área de ILP apresentou maiores teores de COT e N quando comparada com a área de SPD, no intervalo de 0-30 cm. Os valores de ^{15}N apresentaram um enriquecimento isotópico de acordo com o aumento da profundidade. Em relação ao ^{13}C , verificou-se predomínio de plantas C_3 no Cerrado e influência das plantas C_4 nas áreas de SPD e ILP. Os maiores estoques de N foram encontrados na área de Cerradão. Entre as áreas cultivadas, na área de ILP foram verificados maiores estoques de COT até os primeiros 30,0 cm, e de N até os 20,0 cm de profundidade, também na soma dos estoques das camadas até 100 cm para COT e até 40 cm para N, quando comparada com a área de SPD sem braquiária. Os maiores valores de ^{15}N foram encontrados nas áreas cultivadas. O sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ indicou predomínio de plantas de ciclo C_3 na área de Cerradão, enquanto nas áreas cultivadas houve influência das plantas C_4 . A utilização da *Urochloa ruziziensis*, associada à rotação de culturas (ILP), aumentou os teores de COT (0-30 cm) e N (0-20 cm) quando comparada com a área de rotação de culturas (SPD), na ausência de braquiária. O sistema de ILP foi mais eficiente em estocar COT no solo que a área de Cerradão nas camadas de 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm e, na soma das camadas de 0,0-40,0 e 0,0-60,0 cm. O uso de leguminosas nas áreas cultivadas acarretou em maiores valores de ^{15}N em comparação a área de Cerradão. A substituição da vegetação original de Cerradão para implantação de áreas cultivadas acarretou em mudanças do $\delta^{13}\text{C}$, sendo comprovada, após 17 anos de cultivo, a incorporação de carbono das gramíneas nas áreas de SPD e ILP.

Palavras-chave: Solo de Cerrado. Sistema plantio direto. Isótopos estáveis da MOS.

ABSTRACT

No-Tillage System (NTS) associated to Integration Agriculture and Cattle-Raising System (IACRS) increases stock of carbon and nitrogen when brachiaria is associated with crop rotation. The aim of this study was to evaluate distribution of total organic carbon (TOC), total nitrogen (N), and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N , and to quantify TOC and nitrogen in areas under NT associated with IACRS, compared with IACRS without NTS. A Cerrado area with natural vegetation was taken as reference for the original soil. There were evaluated two areas with crop rotation: IACRS (brachiaria + corn / bean / cotton / soybean) and NTS (sunflower / millet / soy / corn). Soil was sampled in the layers from 0.0 to 10.0, 10.0 to 20.0, 20.0 to 30.0, 30.0 to 40.0, 40.0 to 50.0, 50.0 to 60.0, 60.0 to 80.0, and 80.0 to 100.0 cm. Levels of TOC, N, ^{15}N and ^{13}C and values of TOC and N were quantified. The IACRS area showed higher TOC and N than NTS area, in the 0.0 to 30.0 cm depth. The ^{15}N values showed an isotopic enrichment in accordance with increasing depth. In relation to ^{13}C , there was a predominance of C_3 plants in the Cerrado area, and influence of C_4 plants in NTS and IACRS areas. The higher N stocks were found in the Cerrado area. Among cultivated areas, the IACRS area had higher TOC values in the first 30.0 cm, and N until 20.0 cm, and also the sum of stocks of layers up to 100.0 cm for COT and up to 40.0 cm for N, compared with IACRS area without brachiaria. The highest values of ^{15}N were found in cultivated areas. The isotopic signal $\delta^{13}\text{C}$ indicated predominance of C_3 plants in the Cerrado, while the farmed areas showed influence of C_4 plants. The usage of *Urochloa ruziziensis*, associated with crop rotation (IACRS), increased TOC levels (0.0 to 30 cm) and N (0.0 to 20 cm), when compared with IACRS area without Brachiaria. The IACRS was more efficient to store TOC in the Cerrado area, for 10.0 to 20.0 and 20.0 to 30.0 cm layers, and sum of layers from 0.0 to 40.0, and 0.0 to 60.0 cm. The usage of legumes in the crop rotation resulted in higher values of ^{15}N compared to the Cerrado area. The replacement of the original Cerrado vegetation for agriculture led to changes in $\delta^{13}\text{C}$, as proven after 17 years of cultivation, by the incorporation of carbon from grasses in the areas of NTS and IACRS.

Keywords: Cerrado soil. No-tillage system. Stable isotopes of SOM.

6.1 INTRODUÇÃO

A integração lavoura-pecuária (ILP) é um sistema que possui grande potencial para uso agropecuário devido à introdução de espécies forrageiras. De forma geral, estas forrageiras acumulam mais carbono do que as culturas agrícolas, cuja fitomassa se mostra, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (Carvalho, 2007; Embrapa, 2009, Macedo, 2009). Esse sistema tem sido utilizado como meio para a recuperação de pastagens degradadas por superlotação e falta de fertilidade, o que melhora a produtividade através da intensificação do uso da terra e minimiza a remoção da vegetação nativa, em especial na região do Cerrado (Landers, 2007).

O sistema plantio direto (SPD) contribui significativamente para o aumento dos estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo, principalmente quando associado à rotação de culturas anuais (Silva et al., 2009; Martins et al., 2009; Boddey et al., 2010). Com a ILP aliada ao SPD podem-se promover maiores acúmulos de carbono e nitrogênio no perfil do solo quando comparados a áreas sem a utilização de forrageiras, tais como a braquiária.

A utilização de sistemas com ILP tem sido cada vez mais recomendada em agroecossistemas brasileiros. No entanto, o conhecimento de seu efeito sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo ainda é limitada (Marchão et al., 2009), principalmente em relação à distribuição dos teores de carbono e nitrogênio no perfil do solo. Portanto, torna-se necessária a obtenção de maior volume de dados de estoques de carbono e nitrogênio referentes a áreas com ILP.

Nos últimos anos foram intensificados os trabalhos sobre o acúmulo de carbono e nitrogênio em solos de Cerrado, sob diferentes manejos. Porém, ainda é necessário obter maior volume de dados sobre o padrão desse acúmulo para melhor recomendar o manejo desses solos, principalmente na sucessão soja e milho safrinha do Centro-Oeste brasileiro (Martins et al., 2009).

Estudos da matéria orgânica do solo (MOS) são baseados na determinação do C e N total e suas distribuições numa seqüência de frações separadas por métodos convencionais. O emprego de técnicas isotópicas tem contribuído em estudos desta natureza, sendo um dos métodos baseado na abundância natural de ^{13}C e ^{15}N da MOS (Boareto et al., 2004).

A conversão do Bioma Cerrado, por meio da derrubada e queima da vegetação natural, em diferentes sistemas de manejo, pode reduzir os teores de MOS, provocando modificações na distribuição dos teores de C e N, assim como nos valores de abundância natural de ^{13}C e ^{15}N .

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio (N), abundância natural de ^{13}C e ^{15}N e quantificar os estoques de COT e N do perfil do solo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

6.2.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

6.2.3 Amostragem de solo

A descrição da amostragem está apresentada no item 3.2.3 do Capítulo I.

6.2.4 Análises realizadas

a) Determinação da abundância natural de ^{15}N e ^{13}C no perfil do solo

A abundância isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ foi determinada em alíquotas de aproximadamente 300 mg de cada amostra de TFSA (finamente moída e passada por malha de 100 mesh), com precisão de 4 casas decimais. Em seguida, as mostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho e avaliadas por meio um espectrômetro de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha), no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba. Os resultados foram expressos na forma de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), sendo o C em relação ao padrão internacional PDB e o N em relação à composição atmosférica.

b) Determinação dos teores de carbono e nitrogênio no perfil do solo

O COT e N total, em cada camada de solo, foram determinados pelo método de combustão a seco. Pesou-se aproximadamente 300 mg de cada amostra de TFSA (finamente moída e passada por malha de 100 mesh), com precisão de 4 casas decimais. Em seguida, as mostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas em um auto-analisador de C e N, a 900°C (CHN-600) do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba.

c) Estoques de carbono e nitrogênio total no perfil do solo

Para o cálculo do estoque de COT e de N foi utilizado o método da massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al. 2004), conforme equação descrita no item 3.2.4 (c) do Capítulo I.

6.2.5 Análises estatísticas

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran & Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo - tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com 3 repetições cada. Os sistemas de uso do solo avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no sistema de uso da terra. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5%

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Distribuição dos teores de carbono e nitrogênio e a relação C/N no perfil do solo

Nas áreas de Cerradão, SPD e ILP, os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (N) apresentaram um decréscimo, em proporções semelhantes, de acordo com o aumento da profundidade do solo avaliada (Figura 13 e 14). Este padrão é decorrente do maior aporte de resíduos vegetais na camada superficial do solo, sendo nas áreas cultivadas proveniente das rotações utilizadas e no Cerradão, da serapilheira. Com maior deposição de material vegetal, têm-se maiores teores de COT e N nas camadas superficiais, principalmente 0-10 cm, quando comparado com as camadas mais profundas. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Jantalia (2005), Siqueira Neto (2006) e Costa Junior (2008) avaliando a dinâmica do COT e N no sistema solo – planta –atmosfera, com diferentes sistemas de uso do solo em sistemas agrícolas brasileiros no Cerrado goiano.

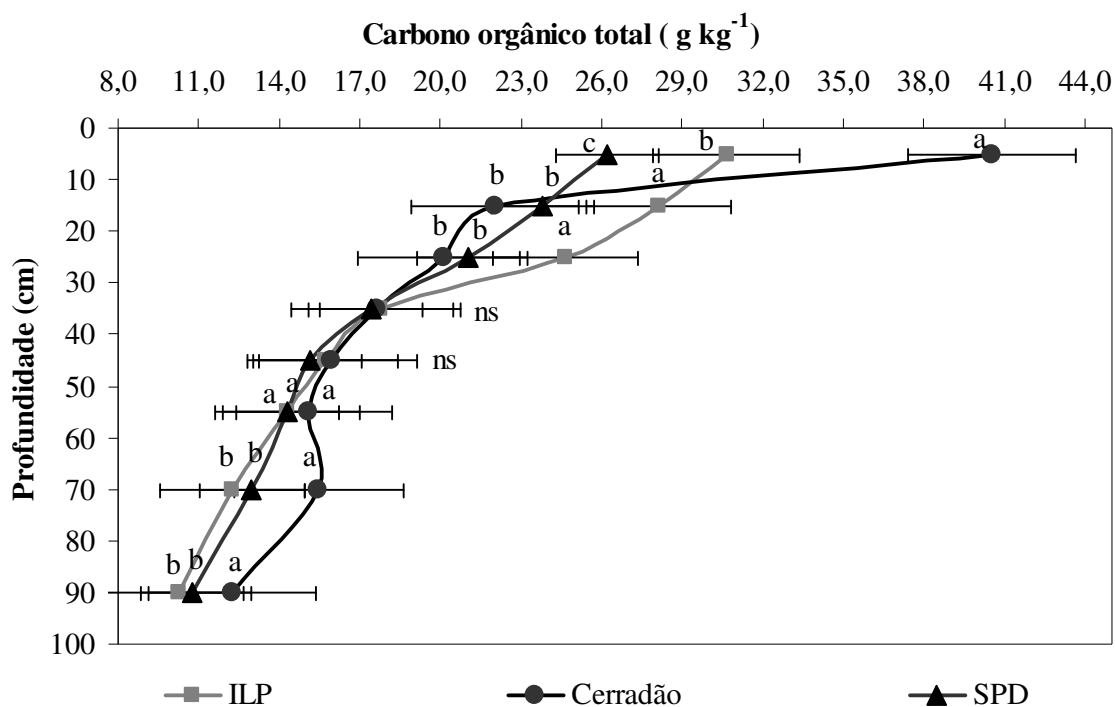


Figura 13. Carbono orgânico total do solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5 %.

Os maiores teores de COT e N foram encontrados sob vegetação de Cerradão, seguidos da área em ILP e SPD, para a camada de 0,0-10 cm. Os valores de COT variaram de 40,54; 30,65 e 26,20 g kg⁻¹, respectivamente para a área de Cerradão, ILP e SPD. (Figura 13). Já os teores de N, variaram de 3,18, 1,85 e 1,65 g kg⁻¹, respectivamente para a área de Cerradão, ILP e SPD (Figura 8). Os maiores teores de COT (0,0-10,0 cm) e N na área de Cerradão são decorrentes da constante deposição de serapilheira nesta área e da maior estabilidade química e física deste sistema, pois é a condição original do solo. A serapilheira deposita na área de Cerradão representa o compartimento mais expressivo para a entrada de C e N quando comparada com os demais sistemas de uso do solo.

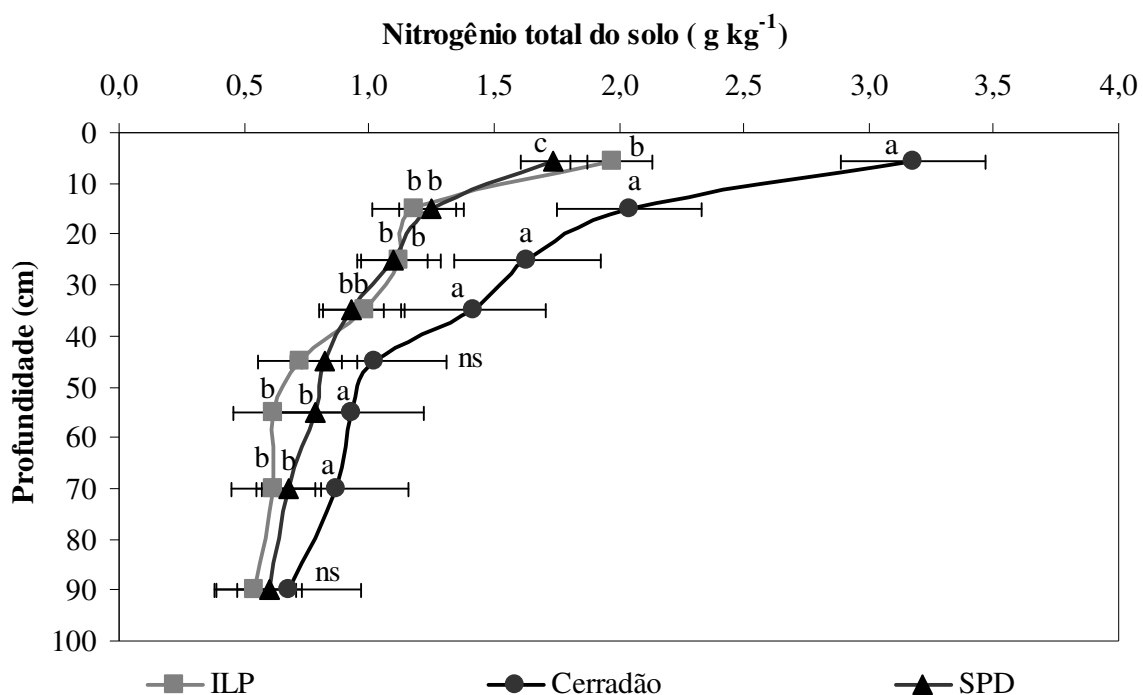


Figura 14. Nitrogênio total do solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5

Em profundidade, para as camadas de 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, a área de ILP apresentou os maiores teores de COT, não sendo observadas diferenças entre os valores das áreas de SPD e Cerradão. Nos intervalos de 30,0-40,0; 40,0-50,0 e 50,0-60,0 cm, não foram constatadas diferenças entre as áreas avaliadas e, para as camadas abaixo de 60 cm, a área de Cerradão apresentou os maiores teores de COT, não sendo verificadas diferenças entre as áreas cultivadas (Figura 13).

Entre as áreas cultivadas, os maiores teores de COT encontrados nos primeiros 30 cm e de N (0,0-10,0 cm) na área de ILP quando comparada a área de SPD, podem ser devidos a utilização da braquiária junto ao milho safrinha, o que ocasiona maior produção de palhada sobre o solo e, portanto, favorece o acúmulo de C e N devido a exploração do solo via sistema radicular. Também se soma o uso de duas leguminosas na área de ILP (soja e feijão) e somente soja na área de SPD. É importante ressaltar que incrementos de N, seja por fixação biológica (leguminosas) ou adubação nitrogenada, favorecem o acúmulo de carbono no solo (Bayer e Mielniczuk, 1997). Segundo Pillon et al. (2004), a incorporação de material vegetal em maiores profundidades no perfil do solo pelas raízes constitui-se em estratégia importante para melhoria da qualidade do solo em subsuperfície e para o acúmulo de carbono no solo. E, para este acúmulo de carbono, certamente o N exerce papel preponderante, pois não ocorre aumento de COT no solo se a quantidade de N for limitante a produtividade biológica.

Nas demais profundidades (30-40, 40-50 e 50-60 cm), a similaridade entre os teores de COT (ausência de diferenças entre as áreas) indica que o cultivo em SPD e ILP por 17 anos apresenta os mesmos teores de COT que a área original (Cerradão). Entretanto, no intervalo de 60,0-80,0 e 80,0-100,0 cm, as áreas cultivadas ainda não recuperaram os teores originais do Cerradão, pois as mesmas apresentaram menores valores quando comparadas aos teores de COT do Cerradão.

Em relação aos teores de N, para todas as profundidades, a área de Cerradão apresentou maiores teores, com exceção a camada de 40,0-50,0 e 80,0-100,0 cm, pois não foram verificadas diferenças. Entre os sistemas de cultivo, a área de ILP apresentou maiores valores somente para a camada de 0,0-10,0 cm, não sendo verificadas diferenças para as demais camadas avaliadas até 100 cm (Figura 14). Os valores de N, na área de ILP variaram de 1,85 a 0,54 g kg⁻¹, enquanto na área de SPD, verificaram-se teores variando entre 1,65 a 0,60 g kg⁻¹. As diferenças encontradas para os teores de N na camada superficial do solo nas áreas cultivadas estão relacionadas à adubação mineral utilizada e, também ao uso de duas leguminosas na área de ILP (soja e feijão) e somente soja na área de SPD.

Os valores da relação C/N variaram de 13 a 18 na área de Cerradão e de 16 a 18 na de SPD, com valores de 19 nas camadas de 20,0-30,0 e 60,0-80,0 cm e, para a área de ILP, os valores variaram de 17 a 19 sendo verificados valores de 22 (30,0-40,0 cm) e 23,0 (50,0-60,0 cm) (Figura 15). Os menores valores de C/N foram observados na área de Cerradão e os maiores, na área de ILP, com exceção a camada de 0,0-10,0; 10,0-20,0 e 30,0-40,0 cm, onde as áreas cultivadas apresentaram valores da relação C/N iguais. As diferenças encontradas para a relação C/N da área de Cerradão e as áreas cultivadas podem ser decorrentes da utilização de rotação de culturas nos sistemas agrícolas. Isso pode acarretar em maiores extrações de N pelas culturas, diminuindo seu teor no solo e conseqüentemente, apresentando maior relação C/N quando comparado a área de Cerradão. Nesta, o sistema já está estável, com a relação C/N tendendo a ser mais próxima da biomassa microbiana, com valores de COT e N variando em proporções mais estáveis.

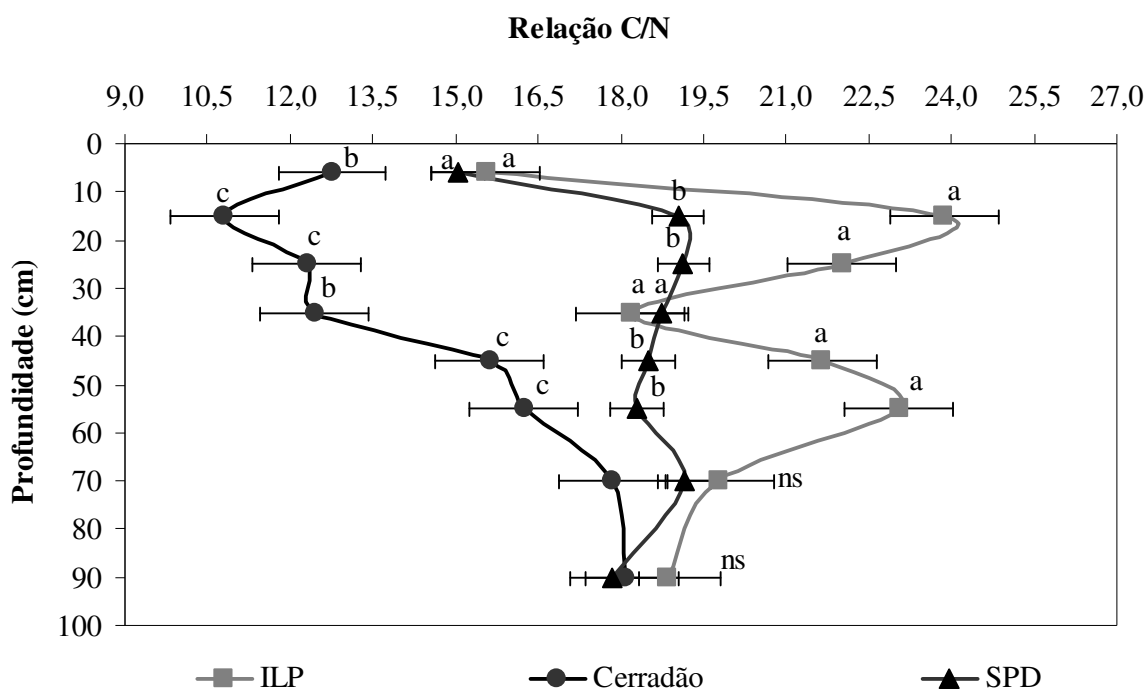


Figura 15. Variação dos valores da relação C:N no solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5 %.

Os maiores valores da relação C/N observados na área de ILP em comparação a área de SPD podem ser decorrentes do uso da braquiária e do milho. A grande vantagem da palhada de braquiária é a relação C/N elevada, que mantém o solo coberto até o fechamento

da entrelinha das culturas, resultando ao final do ciclo da soja, por exemplo, em 4.000 kg ha⁻¹ de palhada (Crusciol e Borghi, 2007).

6.3.2 Valores de ¹⁵N (‰) da MOS no perfil do solo

Os valores de ¹⁵N apresentaram um enriquecimento isotópico de acordo com o aumento da profundidade, sendo este padrão mais pronunciado nas áreas em SPD (Figura 16). Na área de Cerradão, os valores de ¹⁵N variaram de 6,10 a 8,52‰; no sistema de ILP verificaram-se valores entre 6,62 a 11,66‰ e, no SPD, valores entre 6,44 e 11,82‰.

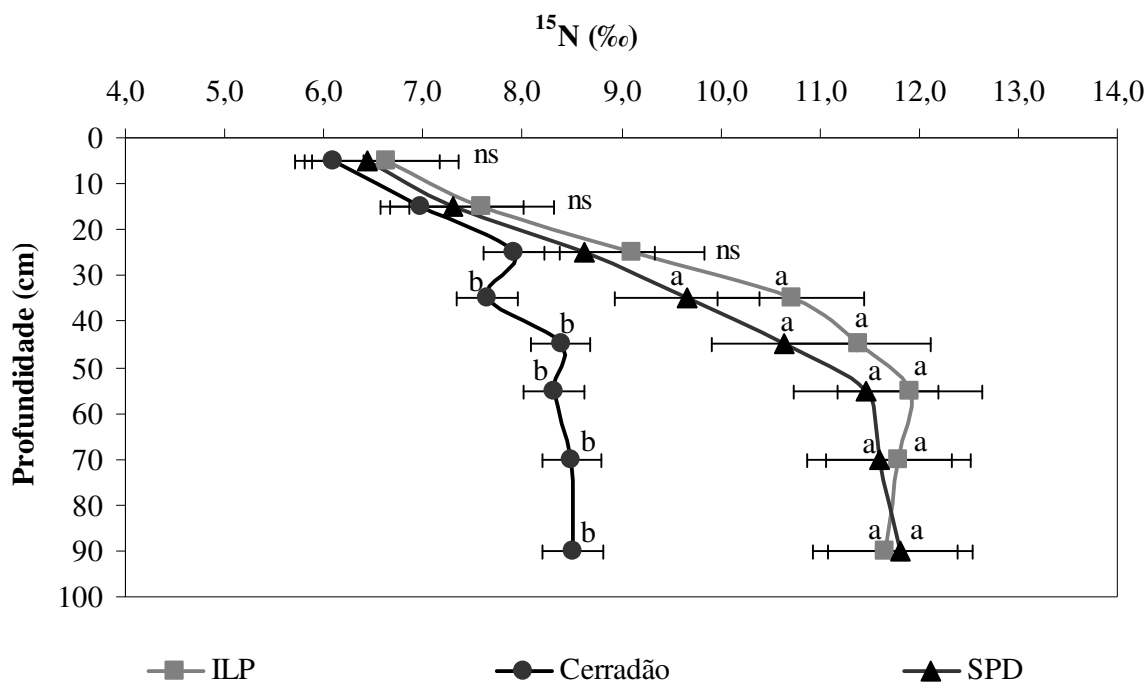


Figura 16. Variação dos valores de ¹⁵N (‰) no solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5%.

O enriquecimento dos valores de ¹⁵N em profundidade pode ser atribuído a constante adição da matéria orgânica das plantas nas camadas superficiais do solo e, também, estar relacionado as transformações de N-orgânico para N-mineral. Dessa forma, na medida em que as reações de mineralização, nitrificação, denitrificação e volatilização ocorrem, a matéria orgânica restante torna-se enriquecida em átomos de ¹⁵N (Bustamante et al., 2004; Hogberg, 1997).

A menor abundância natural de ¹⁵N, nas três áreas e na camada superficial do solo (0,0-10,0 cm) pode ter decorrido da contribuição de N das chuvas (Baptista et al., 2009), e do N derivado da decomposição da palhada (áreas em SPD e ILP) e serapilheira (Cerradão), diminuindo o valor de ¹⁵N dessa camada comparada às demais (Ledgard et al., 1984; Piccolo et al., 1996).

Em profundidade há acréscimo da proporção de formas inorgânicas de N em relação à orgânica. Nesse caso, o *pool* orgânico "reage" mais às reações de transformação e torna-se isotopicamente mais pesado, ou seja, enriquecido em átomos de ¹⁵N (Martinelli et al., 2009). Os maiores valores de ¹⁵N encontrados nas áreas cultivadas, quando comparados com a área de Cerradão podem ser decorrentes da presença da soja e do feijão na área de ILP e somente da soja na área de SPD, por meio de contribuição da fixação biológica de nitrogênio.

6.3.3 Abundância natural de ^{13}C (‰) no perfil do solo

As plantas superiores que fixam CO_2 através da rubisco (via C_3) têm composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) que varia de -24 a -34 ‰, enquanto nas plantas que fixam CO_2 pela PEPcase (via C_4) a composição em $\delta^{13}\text{C}$ é de -6 a -19 ‰ (Smith e Epstein, 1971).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) refletem a vegetação instalada sobre o solo (Figura 17). A área de Cerradão apresentou os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, sendo verificada variação de $-26,26$ ‰ (0,0-10,0 cm) a $-23,02$ ‰ (80,0-100,0 cm). Estes resultados demonstram a predominância de plantas C_3 e são característicos de solos sob floresta no Brasil, sendo semelhante com outros estudos no Cerrado e em outros biomas como a Mata Atlântica e Amazônia.

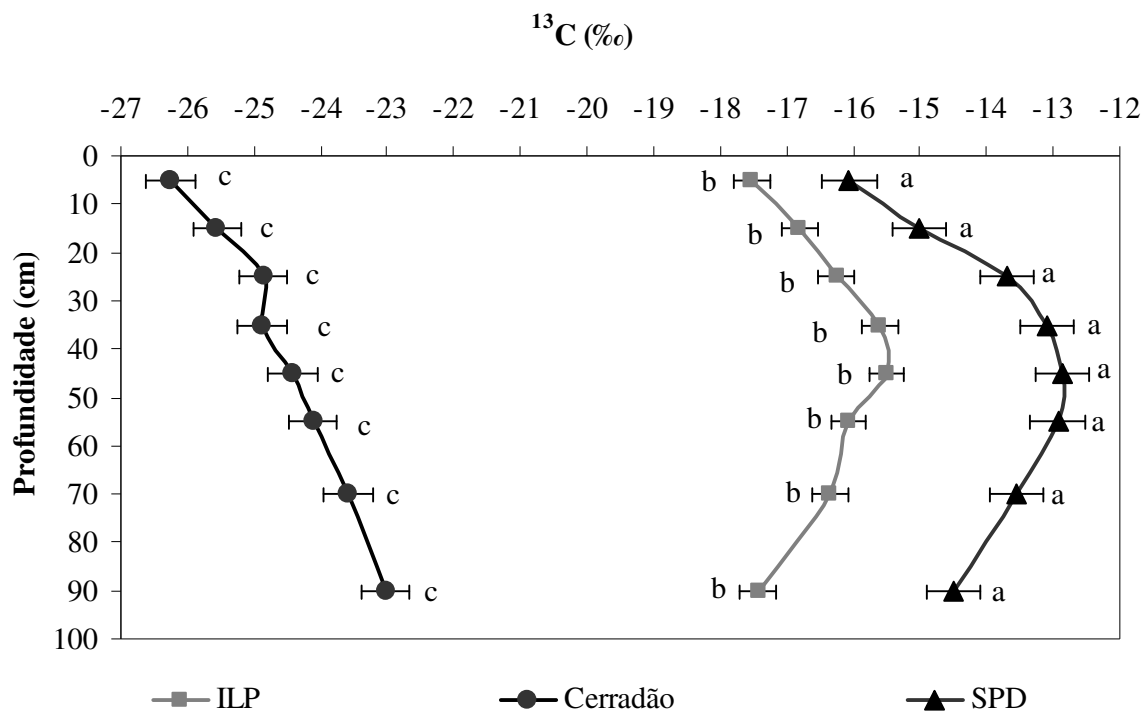


Figura 17. Composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ no solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5 %.

Em profundidade, verificou-se enriquecimento isotópico, com uma diferença de $3,24$ ‰ menos negativo, da superfície até o intervalo entre $80,0$ - $100,0$ cm. Este enriquecimento em profundidade pode ser decorrente do próprio processo de decomposição e humificação da matéria orgânica, onde ocorre a liberação em maior quantidade do ^{12}C , ficando a matéria orgânica “velha” do solo enriquecida em ^{13}C em relação à matéria orgânica recém incorporada (O’Brien e Stout, 1978; Vitorello et al., 1989; Martin et al., 1990). Alguns trabalhos têm relatado este padrão, com aumento de ^{13}C em profundidade correspondendo a um aumento da idade da matéria orgânica (Modenesi et al., 1982, Vitorello et al., 1989, Oliveira, 2000).

Segundo Martinelli et al. (2009), quando a vegetação predominante é do tipo C_3 e não há indícios de mudança no tipo de vegetação em tempos remotos, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS passa por um aumento em direção as camadas mais profundas do solo. Geralmente, o aumento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS é cerca de 3 a 4 ‰ entre a camada superficial e as camadas mais profundas. Este padrão também foi observado na área de Cerradão, indicando que aquela vegetação sempre foi composta por plantas C_3 .

Resultados semelhantes aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ na área de Cerradão foram verificados por Roscoe et al. (2000), avaliando a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil de solo até 1 m em três áreas sob diferentes composições de espécies que ocupam áreas naturais de Cerrado na região de Minas Gerais. Os autores constataram que em duas destas áreas os valores observados na camada de 0,0-5,0 cm foram de -27 ‰ e na camada de 80,0-100,0cm, valores de -24 ‰.

Entre as áreas cultivadas, o padrão da distribuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foi muito semelhante, com enriquecimento isotópico até a profundidade de 50 cm, e depois ocorreu diminuição dos valores referentes à composição isotópica, com valores mais negativos (Figura 17). Verificou-se a influência das plantas C_4 , com menores valores na área de ILP quando comparada com a área em SPD. Foi observado $\delta^{13}\text{C}$ variando de -16,06 a -12,85‰ na área de SPD e -17,53 a -15,50‰ na área de ILP, ambas até a profundidade de 50 cm. Em seguida, observou-se um decréscimo (menor contribuição) isotópico, com valores variando de -12,93 a -14,50‰ (SPD) e -16,07 a -17,43‰ (ILP). Comparando-se o $\delta^{13}\text{C}$ da área de Cerradão (C_3) com o $\delta^{13}\text{C}$ das áreas cultivadas, pode-se inferir que houve incorporação de carbono novo no SPD e na ILP até 1 m de profundidade após 17 anos de cultivo. E, entre as áreas cultivadas, destaca-se o SPD com maior incorporação de carbono proveniente de plantas C_4 em todas as camadas avaliadas (Figura 17).

Nas áreas de cultivos são realizadas as safras agrícolas anualmente e também a safrinha. Entretanto, na área de SPD nem sempre foi feita a safrinha. Esta vem sendo feita somente nos últimos cinco anos. Antes disso, era cultivada soja na safra e a safrinha não era feita. Após a soja, a área permanecia em pousio, com a presença de plantas invasoras, destacando-se o capim colônia e braquiária, ambas C_4 . Além disso, tem-se o efeito do milheto (C_4) semeado em agosto para o plantio da soja em outubro. Por esta razão, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) são maiores na área de SPD quando comparados com a área de ILP.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das áreas em SPD e ILP foram significativamente maiores que os verificados na área de Cerradão (Figura 17). Este resultado indica que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados refletem a vegetação instalada, principalmente o uso de plantas de ciclo fotossintético C_4 . Resultados diferentes a estes foram encontrados por Jantalia et al. (2007), avaliando a influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo envolvendo pastagens e sistemas de produção de grãos, com 12 anos de implantação sob Latossolo Vermelho em Planaltina, DF. Os autores observaram que os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil de solo em profundidade sob todos os tratamentos agrícolas, não apresentaram diferenças significativas em relação ao Cerrado, o que sugere que os perfis de solo avaliados sob esta vegetação representaram a composição de $\delta^{13}\text{C}$ anterior a instalação do experimento.

6.3.4 Distribuição dos estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo

Os maiores estoques de COT foram observados na área de Cerradão para a camada de 0,0-10,0; 60,0-80,0 e 80,0-100,0 cm (Tabela 19). Este padrão, para a camada de 0,0-10,0 cm, está relacionado à grande deposição de matéria orgânica, que é intensificada nesta área devido ao aporte de resíduos vegetais (serapilheira) e, também, à ausência da influência antrópica. Em profundidade, os maiores estoques de COT indicam que remoção da cobertura vegetal original do solo (Cerradão) para implantação do SPD ainda não recuperou os teores de COT originais do solo.

Entre as áreas cultivadas verificaram-se maiores estoques de COT na área de ILP para as camadas de 0,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, não sendo constatadas diferenças entre as áreas para as camadas de 30,0-40,0; 40,0-50,0 e 50,0-60,0 cm. Para as demais profundidades, não foram verificadas diferenças entre as áreas cultivadas (Tabela 19).

Tabela 19. Estoques de carbono orgânico total (Mg ha^{-1}) sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso	Camadas avaliadas (cm)							
	0,0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100
Cerradão	31,06 a	20,39 c	19,58 b	18,44 a	18,30 ^{ns}	17,57 a	37,09 a	29,79 a
ILP	26,27 b	26,25 a	22,84 a	19,59 a	19,26 ^{ns}	16,74 a	29,50 b	25,21 b
SPD	22,31 c	22,44 b	18,14 b	18,62 a	18,56 ^{ns}	16,73 a	31,32 b	26,46 b
Soma das camadas (cm)								
	0-20	0-40	0-60	0-100				
Cerradão	51,45 a	89,47 b	125,34 b	192,22 a				
ILP	52,52 a	94,95 a	130,95 a	185,66 b				
SPD	44,75 b	81,51 c	116,80 c	174,58 c				

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-Student a 5%. ns=não significativo pelo teste F a 5

Para os estoques de N, foram verificados maiores valores em todas as camadas avaliadas para a área de Cerradão. Entre as áreas cultivadas, a área de ILP apresentou maiores estoques de N nas camadas de 0,0-10,0 e 10,0-20,0 cm, não sendo observadas diferenças entre as áreas cultivadas para as camadas de 20,0-30,0; 30,0-40,0 e 80,0-100,0 cm. Para as demais profundidades (40,0-50,0; 50,0-60,0 e 60,0-80,0 cm) a área de SPD apresentou maiores estoques de N (Tabela 20).

Tabela 20. Estoques de nitrogênio total (Mg ha^{-1}) sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Sistemas de uso	Camadas avaliadas (cm)							
	0,-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100
Cerradão	2,83 a	1,89 a	1,84 a	1,64 a	1,24 a	1,08 a	2,08 a	1,65 a
ILP	1,65 b	1,46 b	1,28 b	1,09 b	0,90 c	0,73 c	1,48 c	1,33 b
SPD	1,47 c	1,29 c	1,28 b	1,13 b	1,00 b	0,91 b	1,64 b	1,48 b
Soma das camadas (cm)								
	0-20	0-40	0-60	0-100				
Cerradão	4,72 a	8,20 a	10,52 a	14,25 a				
ILP	3,11 b	5,48 b	7,11 b	9,92 b				
SPD	2,76 c	5,17c	7,08 b	10,02 b				

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-Student a 5%. SPD

Os maiores estoques de COT e N na área de ILP podem ser decorrentes do uso da braquiária, pois esta propicia a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta e, portanto, favorece o acúmulo de C pela sua maior relação C/N. A utilização da braquiária para intensificar a produção de palhada no período seco do ano promoveu aumento da produção de fitomassa na área de ILP em comparação a área de SPD, conseqüentemente, ocorreu um aumento nos estoques de COT e N. Estes resultados corroboram os encontrados por Dieckow et al. (2005), avaliando os estoques de COT e N em SPD por 17 anos no Sul do Brasil.

As áreas cultivadas em SPD possuíam em média 17 anos de manejo, sendo consideradas entre as fases de evolução do sistema solo com o tempo de cultivo em SPD como a fase de consolidação (10 a 20 anos de cultivo em SPD) segundo Anghinoni (2007). Nesta fase ocorre um acúmulo de palha e MOS, aumento da capacidade de troca de cátions do solo, maior armazenamento de água e reciclagem de nutrientes. Dentre estas características, pode-se observar nas camadas mais superficiais (até 30,0 cm para COT e até 20,0 cm para N)

e no somatório das camadas (até 100 cm para COT e até 40,0 cm para N) que a área de ILP apresentou valores de estoques de COT e N maiores que a área de SPD. Este resultado indica a eficiência do sistema de ILP em estocar COT e N no solo, sendo mais eficiente que a rotação de culturas (SPD), na ausência da braquiária.

Nas áreas cultivadas em SPD, a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas e a permanência dos resíduos culturais na superfície do solo favorecem a agregação, promovendo maior proteção à matéria orgânica (Salton et al., 2008). Desta forma, tem-se também aumento dos estoques de COT e N.

Apenas nas camadas de 40,0-50,0; 50,0-60,0 e 60,0-80,0 cm (para os estoques de N) a área de SPD apresentou maiores estoques que a área de ILP. Nas áreas cultivadas, são realizadas safras agrícolas anualmente e também a safrinha; entretanto, na área de SPD nem sempre foi feita a safrinha. Esta começou a ser feita nos últimos cinco anos. Antes disso, após o cultivo do milho, a área permanecia em pousio, sendo ocupada por plantas invasoras tais como capim colônio e braquiária. E, também ocorre efeito do milheto, semeado em agosto para o plantio da soja em outubro. O uso dessas gramíneas, por meio do sistema radicular em profundidade proporciona, via morte das raízes, adição de N ao solo, culminando em maiores estoques de N no SPD, nas camadas mencionadas, quando comparado com o sistema de ILP.

Os valores dos estoques de COT e N encontrados na camada de 0,0-40 cm (94,95 e 81,51 Mg ha⁻¹, para COT, e 5,48 e 5,17 Mg ha⁻¹, para N, respectivamente, para ILP e SPD) e na camada de 0-100 cm (185,66 e 174,58 Mg ha⁻¹, para COT e 9,92 e 10,02 Mg ha⁻¹ para N, respectivamente, para ILP e SPD) são maiores que os encontrados por Jantalia (2005), com exceção ao estoque de COT para SPD (0,0-40 cm). A autora avaliou a dinâmica dos estoques de COT e N de Latossolo Vermelho em Planaltina, DF, também em ambiente de Cerrado e SPD com as seguintes rotações de culturas: milho, soja, milheto (PD1) e a mesma rotação anterior, mas associada à utilização da gramínea *Andropogon gayanus* (PD2). Os valores de estoques de COT encontrados por Jantalia (2005) foram 84 Mg ha⁻¹ para PD1 e também PD2 (0,0-40 cm) e 139 e 143 Mg ha⁻¹ para PD1 e PD2, respectivamente (0,0-100 cm). Para os estoques de N foram de 4,9 e 5,1 Mg ha⁻¹ para PD1 e PD2, respectivamente (0,0-40 cm) e, 8,2 e 8,5 Mg ha⁻¹ para PD1 e PD2, respectivamente (0,0-100 cm).

Os resultados encontrados apresentaram o padrão observado por Jantalia (2005), onde a autora observou maiores estoques de COT e N na área em SPD que utilizava a gramínea *Andropogon gayanus* como planta de cobertura, junto à rotação de culturas, sendo semelhante à área de ILP, que utilizou a gramínea braquiária consorciada junto ao milho safrinha.

Quando se compara os estoques de COT de 0-60 cm, o sistema de ILP apresenta maiores estoques de COT que a área de Cerradão e, na camada de 0-100 cm, observa-se padrão contrário a este (Tabela 19). Estes resultados mostram a importância do estudo dos estoques de COT até 1 m de profundidade, destacando-se que se devem fracionar as camadas em intervalos regulares de espessura, como por exemplo, 10 cm, para poder se observar o efeito dos sistemas de cultivo avaliados no somatório das camadas. Neste estudo verificou-se que até os 60 cm, o sistema de ILP aumentou os estoques de COT em comparação a condição original do solo (Cerradão). Se o estudo tivesse sido apresentado na forma do somatório das camadas até 1 m de profundidade apenas, o efeito do sistema de ILP teria sido diluído em profundidade quando comparado com a área de Cerradão.

Entre as áreas cultivadas, os maiores estoques de COT na área de ILP podem decorrer da rotação de culturas utilizada. Esta pode acarretar efeito positivo no balanço de N (soja e feijão, além da adubação química), que por sua vez está atrelado à adição de carbono, permitindo a incorporação conjunta destes elementos à matéria orgânica do solo (Jantalia, 2005). Destacam-se os maiores estoques de N para o sistema de ILP de 0-40 cm (Tabela 20).

6.4 CONCLUSÕES

A utilização do sistema de ILP aumentou os estoques de carbono orgânico total (COT) (0,0-30 cm) e nitrogênio total (N) (0,0-20 cm) quando comparada com a área de SPD.

O sistema de ILP é mais eficiente em estocar COT no solo que a área de Cerradão nas camadas de 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm e, na soma das camadas de 0,0-40,0 e 0,0-60,0 cm.

O uso de leguminosas nas áreas cultivadas acarretou em maiores valores de ^{15}N em comparação a área de Cerradão.

A substituição da vegetação original de Cerradão para implantação de áreas cultivadas acarretou em mudanças do $\delta^{13}\text{C}$, sendo comprovada, após 17 anos de cultivo, a incorporação de carbono das gramíneas nas áreas de SPD e ILP.

7 CONCLUSÕES GERAIS

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) (milho safrinha e *Urochloa ruziziensis*), comparado ao sistema plantio direto (SPD) sem braquiária, proporcionou equilíbrio entre a distribuição do carbono das frações da matéria orgânica do solo (MOS), mais lábeis e recalcitrantes, e aumentou os estoques de carbono e nitrogênio e a agregação do solo.

O sistema de ILP, somado as adubações realizadas nas culturas e na braquiária, aumentou os estoques dos nutrientes Ca, P, K, N e, favoreceu a estratificação do carbono orgânico particulado (COp) em superfície e subsuperfície em comparação ao carbono orgânico associado aos minerais (COam), quando comparado ao SPD.

Dentre os indicadores químicos avaliados, o carbono orgânico total do solo (COT), os estoques de carbono da fração ácido húmico (C-FAH) e o carbono oxidável apresentaram as melhores capacidades de diferenciação da qualidade química da MOS em função das rotações empregadas em ambiente de Cerrado. Em relação aos indicadores físicos, o COp, a matéria orgânica leve (MOL) em água e a fração leve livre (FLL) também apresentaram este padrão.

O sistema de ILP aumentou a adição de resíduos vegetais ao solo (FLL e MOL), com posterior aumento dos estoques de COT em comparação ao SPD, sem braquiária.

Em função de todas as variáveis mensuradas neste trabalho, sejam elas químicas físicas ou biológicas, pode-se concluir, de acordo com os resultados apresentados, que a MOL e a agregação do solo (agregados estáveis em água de tamanho 2,00 mm) são potenciais indicadores da qualidade do solo. Estes indicadores são facilmente quantificados e têm baixo custo para sua obtenção, sendo possível avaliar seus valores até mesmo no campo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além das conclusões apresentadas em relação aos atributos químicos e físicos da MOS, onde o sistema de ILP favorece esses atributos em comparação à área de SPD sem braquiária, somam-se as diferenças de produtividade das culturas utilizadas nas duas áreas (Tabela 21).

Tabela 21. Produtividade média da Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu, GO (17° 21' S e 51° 28' W).

Produtividade	Áreas avaliadas	
	ILP	SPD
Soja (sacas/ha)	63,0	61,6
Milho safrinha (sacas/ha)	104,7	92,5

Observando os números brutos na Tabela 21, que são os que mais interessam ao produtor, verificam-se melhores produtividades na área de ILP, principalmente em propriedades como a Fazenda Vargem Grande pertencente à Agropecuária Peeters, com cerca de 400 ha de área agricultável. Portanto, os benefícios que o sistema de ILP propicia para o solo, sendo de maneira geral, o aumento das frações da MOS, da agregação e da fertilidade, também se refletem em aumento de produtividade. Ainda, há benefício adicional da produção de carne bovina, já que nas áreas de ILP pastejam animais por 3 meses. No entanto, para que a ILP promova tais benefícios, é necessário levar em consideração a maior exportação de nutrientes do sistema, exigindo com isso, mais atenção quanto à correção de acidez e adubação do solo.

Diante do exposto nos capítulos anteriores e dos melhores resultados em termos de produtividade, pode-se concluir que o sistema de integração lavoura-pecuária é uma solução interessante para contrapor os problemas do sistema plantio direto devido às intempéries no Cerrado goiano. Entre elas a rápida decomposição da palhada de culturas como a soja e o feijão, as condições climáticas desfavoráveis no período da safrinha (março a julho) e os problemas com áreas ociosas durante este período de cinco meses.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. - Geomorfologia, 20, USP-IG. São Paulo. 1970.
- AB'SABER, A. N. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: Simpósio Sobre o Cerrado, 1971, 3, São Paulo, SP. Anais. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1971, p.1-14.
- AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo. Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Inforeme Agropecuário, v.22, p.25-36, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; CUBUCCI, T.; KLUTHCOUSHI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. A cultura do Milho na Integração Lavoura-Pecuária. Embrapa Sete Lagoas, MG, 12 p. Circular Técnica, n. 80. 2006.
- AMADO, T. J. C. O Sistema Plantio Direto na Palha de Qualidade e os Serviços Ambientais. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza, CE. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, UFC-SBCS, 2009. CD-ROM.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.189-197, 2001.
- AMÉZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. Journal of Sustainable Agriculture, Binghamton, v.14, p. 83-151, 1999.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International. 171p. 1989.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). Fertilidade do Solo. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v.1, p.873-928.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ªed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.65-86.
- ARAÚJO, A. R. Calagem e extratos vegetais hidrossolúveis na movimentação de íons em solo. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ASSIS, C. P. Carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de amostras de solo e agregados de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos e manejos. 2004. 68f. Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 1541-1550, 2006.

- ASSIS JÚNIOR, S. L.; KAZUYA, M. C. M.; COUTO, L. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *Revista Árvore*, v. 27, p.35-41, 2003.
- BAHIA FILHO, A. F. C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. 179p. 1982. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G.; PENG, X.; VASSALLO, A. M.; WILSON, M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy *Biogeochemistry*, v.16, p.1-42, 1992.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p.25-30, 1987.
- BAPTISTA, R. B.; LEITE, J. M.; MORAES, R. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Variação da abundância natural de ^{15}N no perfil do solo e seu efeito na estimativa da contribuição da fixação biológica de N_2 em variedades de cana-de-açúcar. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza, CE. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, UFC-SBCS, 2009. CD-ROM.
- BARRAL, M. T.; ARIAS, M.; GNÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil Tillage Research*, v.46, p.261-272, 1998.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K.; REBOUCA, R. C.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, v.81, p.213-220, 2011.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORREA, M. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.11-20. 2005.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p.687-694, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-tillage cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.1473-1478, 2001.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ªed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 9-26.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.235-239, 1997.

- BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p.787-795, 1994.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa solos. Comunicado Técnico, 16).
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C. CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; SIQUEIRA NETO, M.; METAY, A.; PERRIN, A.; SCOPEL, E.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. C. PICCOLO, M. C. Influence du semis direct avec couverture végétale sur la séquestration du carbone et érosion au Brésil. *Bulletin Du Réseau Erosion*, v.23, p.323-337, 2004.
- BIGMA, 2011. Contribuições do SPD. Disponível em: <http://plantadiretobrasil.blogspot.com/2011/02/contribuicoes-do-plantio-direto.html>. Acesso em 17 05 11.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.46, p.1459-1466, 1995.
- BLANCHART, E.; BERNOUX, M.; SARDA, X.; SIQUEIRA NETO, M.; Cerri, C. C.; PICCOLO, M. C.; DOUZET, J.; SCOPEL, E.; FELLER, C. Effect of direct seeding mulch-based systems on soil carbon storage and macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, v. 72, p.81-87, 2007.
- BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. OTRIVELIN, P. C. O. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. In: XXXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Lages, 2004. Anais da XXXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Lages, UDESC-SBCS, 2004. CD-ROM.
- BODDEY, R.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C. E.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; GIACOMINI, S. J.; URQUIAGA, S. C. S.; ALVES, B. J. R. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, v. 16, p.784-795, 2010.
- BONDE, T. A.; CRISTENSEN, B. T.; CERRI, C. C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ¹³C abundance in particle size fractions of forested and cultivated oxisols. *Soil Biology and Biochemistry*, v.24, p.275-277, 1992.
- BORGGGAARD, O. K. The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. *Soil Science*, v.34, p.333-341, 1983.
- BOSSUYT, H.; SIX, J.; HENDRIX, P. F. Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue *Soil Science Society of America Journal* *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1965-1973, 2002.
- BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.393-404, 2008.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v.124, p.3-32, 2005.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, v.19, p.269-279, 1995.

BROWN, G. G., BAROIS, I., LAVELLE, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, v.36, p.177-198, 2000.

BUCHMANN, N.; KAPLAN, J. O. Carbon isotope discrimination of terrestrial ecosystems - how well do observed and modeled result match. In: SCHULZE, E. D.; I-HEIMANN, M.; HARRISON, S.; I-IOLLAND, E.; LLOYD, J.; PRENTICE, C.; SCI-IIMEL, D. (Ed.). *Global biogeochemical cycles in the climate system*. San Diego: Academic Press, 2001. p.253-266.

BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.33, p.97-105, 2003.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P.B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R.V. ¹⁵N Natural abundance in woody plants and soils of the savanna in Central Brazil. *Ecological Applications*, v.14, p.200-213, 2004.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIA-MONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry*, v.79, p.209-237. 2006.

CADAVID, L. F.; EL-SHARKAWY, M. A.; ACOSTA, A.; SANCHES, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in Northern Colombia. *Field Crops Research*, v.57, p.45-56, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.315-327, 1999.

CAMBARDELLA, C. A. Experimental verification of simulated soil organic matter pools. In: LAL, R., KIMBLE, J. M., FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). *Soil processes and the carbon cycle*. Boca Raton: CRC Press, p. 519-526, 1997.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F.G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.935-944, 2003.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L.N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1028-1035, 2010.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, p.9-22, 2001.

CARTER, M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, v.94, p.38-47, 2002.

CARVALHO, J. L. N. Dinâmica d carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura pecuária na Amazônia e no Cerrado. 141p. 2009. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Sistema de plantio direto aumenta o sequestro de carbono pelo solo. *Visão Agrícola*, v.9, p.132-135, 2010a.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F.J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Tillage Research*, v.110, p.175-186, 2010b.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p.277-289, 2010c.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Research*, v.103, p.342-349, 2009.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C. R.; FLORES, J. P. C. L.; CEPIK, C. T.C.; LEVIEN, R.; LOPES, M. T.; BAGGIO, C.; LANG, C. R.; SULC, R. M.; PELISSARI, A. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHALL, C. S.; SILVA, J. L. S.; RODRIGUES, N. C. (Org.). *Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia*. Canoas-RS, p.7-44, 2005.

CARVALHO, P. C. F. Integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto. 2007. Disponível em: <http://www.agroredenoticias.com.br/textos.aspx><http://www.agroredenoticias.com.br/textos.aspx>. Acesso em: 22 jun. 2010.

CECCON, G.; STAUT, L.A.; KURIHARA, C. H. Manejo de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão. *Revista Plantio Direto*, v.113, p.4-8, 2009.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; COSTA JUNIOR, C.; FEIGL, B. J.; FRAZAO, L. A.; MELLO, F. F.; GALDOS, M. V.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agrícola*, v.67, p.102-116, 2010.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Science*, v.166, p.61-67, 2001.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, v.20, p.1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, v.52, p.345-353, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.), Structure and organic matter storage in agricultural soils. CRC Press: Boca Raton, p.97-165, 1996.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: structure, function and turnover, University of Copenhagen, DIAS report plant Production n.30, 2000.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.1055-1064, 2002.

COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America. Boca Raton: CRC Press, p.51-72, 1997.

COMPTON, J. E.; BOONE, R. D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. Soil Biology Biochemistry, v.34, p.933-943, 2002.

CONAB, 2009. Plantio direto ocupa 70% das áreas de lavoura de grãos. Disponível em: <https://www2.cead.ufv.br/espacoProdutor/scripts/verNoticia.php?codigo=476&acao=exibir>. Acesso em: 17 05 11.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. Eficiência do Politungstato de Sódio no Fracionamento Densimétrico da Matéria Orgânica do Solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1301-1310, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio em estudos de proteção física da matéria orgânica do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 541-549, 2008.

CONCEIÇÃO, P. C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil. 2006. 141f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CONTEH, A.; BLAIR, G. J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (Vertisols) under cotton production. Australian Journal of Soil Research, v.36, p.257-271, 1998.

CORDEIRO, F. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; LOSS, A.; STAFFANTO, J. B. Atributos edáficos em pastagens da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. Comunicata Scientiae, v.1, p.106-113, 2010.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza-PB. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.311-324, 2003.

COSTA JUNIOR, C. Carbono e nitrogênio em agregados do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo em Rio Verde – GO. 2008. 139f. Dissertação de Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto, Uberaba, MG. *Comunicata Scientiae*, v.1, p.100 - 105, 2010.

COUTINHO, L. M. Aspectos do Cerrado. 2000. Disponível em: http://eco.ib.usp.br/cerrado/aspectos_bioma.htm. Acesso em: 10-02-2010.

COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 1, p. 17-23, 1978.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, edição 100. 6p. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS. 2007.

CUNHA, T. J. F.; CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RIBEIRO, L. P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In.: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, p. 244-267, 2005.

CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. *Ciência Rural*, v.1, p.27-36, 2001.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.913-923, 2002.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, v.4, p.217-227, 1998.

DENEF, K.; SIX, J. Clay mineralogy modifies macroaggregate stabilization through active root growth, plant residues and associated microbial activity. *European Journal of Soil Science*, v.124, p.123-129, 2003.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. *Soil Biology Biochemistry*, v.39, p.1165-1172, 2007.

DICK, D. P.; GOMES, J.; BAYER, C.; BODMANN, B. Adsorção de ácidos húmicos em Latossolo Roxo natural e tratado com oxalato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.285-294, 2000.

DICK, D. P.; GONÇALVES, C. N.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KNABNER, I. K.; MARTIN NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as function of soil depth. *Geoderma*, v.124, p.319-333, 2005.

DIECKOW, J.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D. M. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Sistemas de Preparo do Solo e Características Espectroscópicas da Matéria Orgânica em Ambientes Tropicais e Subtropicais Brasileiros. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Embrapa Instrumentação Agropecuária, v.12, p.1-16, 2005.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds). *Defining soil quality for a*

sustainable environment. Soil Science Society of America, p.3-22. 1994. (Publication Number 35).

DULKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E., LAL, R. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. Soil Science Society of America Journal, v.67, p.606-611, 2003.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção de fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1009-1016, 2008.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. Journal of Soil Science, v.18, p.64-73, 1967.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. The Botanical Review, New York, v.38, p.201-341, 1972.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian Journal Soil Science, v.75, p.529-538, 1995.

ELLIOTT, E. T.; CAMBARDELLA, C. A. Physical separation of soil organic matter. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.34, p.407-419, 1991.

EL-SWAIFY, S. A.; EMERSON, W. W. Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminum and iron hydroxides: swelling and aggregate stability after drying. Soil Science Society of America Journal, v.39, p.1056-1063, 1975.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). Manual de Métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2006.

EMBRAPA. 2009. Especial Embrapa: Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. Disponível em: www.cnpq.org.br/arquivos/integravpecflo.pdf. Acesso em: 22 jun. 2010.

FARIAS, E. P.; ZONTA, E.; SANTOS, G. A.; CANELLAS, L. P. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.875-882, 2005.

FARQUHAR, G. D.; O'LEARY, M. H.; BERRY, J. A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. Australian Journal of Plant Physiology, v.9, p.121-137, 1982.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha –Ponta Grossa, Boletim Informativo. Ano 9, n.33, 8p. 2008.

FELLER, C.; BALESSENT, J.; NICOLARDOT, B.; CERRI, C. Approaching "functional" soil organic matter pools through particle-size fractionation. Examples for tropical soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETR, R. F.; STEWART, B. (Ed.). Assessment methods for soil carbon pools. Boca Raton: CRC Press, p. 102-132, 2000. (Advances in Soil Science).

FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.161-169, 2011.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A.; CÃO, E. G. R. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1675-1684, 2009.

FERNANDES, A. D. A dinâmica da fronteira agrícola em Goiás (1970-1985). 2006. 142f. Dissertação (Mestrado em História). Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no pantanal mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.943-1951, 1999.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.507-514, 1999.

FIGUEIREDO, C. C. Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação naturl de Cerrado. 2009. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p. 907-916, 2010.

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, p. 146-151, 2009.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema deplatio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.771-780, 2007.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo de Cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, p.22-30. 2007.

FONTANA, A.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.847-853, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.39, p.951-971, 2008a.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Fósforo remanescente e correlação com as frações da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho

distroférico sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociencia*, v.14, p. 159-164, 2008b.

FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, v. 22, p. 49-56, 2010a.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1241-1257, 2010b.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J.; LOSS, A. Distribuição dos agregados e substâncias húmicas em solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais. *Agrária*, v. 5, p. 291-297, 2010c.

FONTANA, A. PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p. 313-324, 2011.

FONTANELE, R. S.; SANTOS, H. P.; DE MORI, C. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos com pastagens, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, p.51-57, 2006.

FORTUN, A.; BENEYAS, J.; FORTUN, C. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: A micromorphological study. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, p.563-572, 1990.

FOY, C.D. Tailoring plants to fit problem soil – progress and problems for future research. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.; SHAFFERT, R.E., eds. *Plant soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.55-57.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F. J.; SKORUPA, L. A.; WINK, N. N.; GUISSOLPHI, I. J.; CAUMO, A. L.; HATORI, T. Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. *Circular técnica*, 77, 20p. 2010.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.2045-2058, 2003.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.533-542, 1999.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V. B.; FEIGL, B. J. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1198-1204, 2010.

FREIXO, A. A., CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.445-453, 2002.

- GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A.; BAILEY, T. C. Surface residue and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.196-201, 2000.
- GILLER, K. E.; WITTER, E.; CORBEELS, M.; TITTONELL, P. Conservation agriculture and smallholder farming in África: the heretics view. *Field Crops Research*, v.114, p.213-34, 2009.
- GIMENES, M. J.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; SOUZA, R. S. C. E. F. C. Integração lavoura-pecuária–breve revisão. *Revista Trópica*, v.4, p.52, 2009.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research*, v.32, p.285-309, 1994a.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research*, v.32, p.1043-1068, 1994b.
- GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.651-658, 2002.
- GONÇALVES, L. S.; FRANCHINI, J. C. Integração Lavoura-Pecuária. *Circular técnica*, 44, 8p. Empapa Soja, 2007.
- GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v.74, p.367-375, 1994.
- GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M. R. (Ed.). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton: Lewis, p.397-407, 1993.
- GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; MCKIM, U. F.; SKJEMSTAD, J. O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, p.975-985, 2006.
- GRIFFITHS, L. L.; BORLAND, A.; GILLON, J.; HIARWOOD, K.; MAXWELL, K.; WILSON, J. Stable isotopes reveal exchanges between soil, plants and the atmosphere. In: PRESS, M. C.; SCI-IOLES, J. D.; BARKER, M. G. (Ed.). *Physiological plant ecology*. Oxford: Blackwell Science, 1999, p.415-441.
- GUALBERTO, V.; RESENDE, M.; CURI, N. Química e mineralogia de Latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, p.245-252, 1987.
- GUERTAL, E. A.; ECKERT, D. J.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Science Society of America Journal*, v.55, p.410-413, 1991.
- GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; SCHULTEN, H. R. Formation and mobilization pathways of dissolved organic-matter - evidence from chemical structural studies of organic-matter fractions in acid forest floor solutions. *Organic Chemistry*, v.21, p.51-66, 1994.

- HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil*, v.191, p.77-87, 1997.
- HASSINK, J.; BOUWMAN, L. A.; ZWART, K. B.; BLOEM, J.; BRUSSAARD, L. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma*, v.57, p.105-128, 1993.
- HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances Agronomy*, v.49, p.119-199, 1993.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York, Academic Press, 1998. 771p.
- HÖGBERG, P. Tansley Review n° 97 ¹⁵N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, v.137, p.179-203, 1997.
- IBGE. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Estudos e pesquisas: Informação geográfica 7, Rio de Janeiro, 2010.
- IBGE. 2004. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 01 fev. 2010.
- IGWE, C. A.; AKAMIGBO, F. O. R.; MBAGWU, J. C. Chemical and mineralogical properties of soils in southwestern Nigeria in relation to aggregate stability. *Geoderma*, v.92, p.111-123, 1999.
- IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; DEXTER, A. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1656-1661, 2002.
- JANTALIA, C. P. Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo – planta - atmosfera. 2005. 137f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S. BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Soil Tillage Research*, v.95, p.97-109, 2007.
- JANZEN; H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.1799-1806, 1992.
- JASTROW, J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology Biochemistry*, v.28, p. 665-676, 1996.
- JASTROW, J. D., MILLER, R. M., LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology Biochemistry*, v.30, p.905– 916, 1998.
- JINBO, Z.; CHANGCHUN, S.; SHENMIN, W. Dynamics of soil organic carbon and its fractions after abandonment of cultivated wetlands in Northeast China. *Soil Tillage Research*, v.96, p.350-360, 2007.
- JONES, M. N., BRYAN, N. D. Colloidal properties of humic substances. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 78, p.1-48, 1998.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do Solo, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.107-138, 2000.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their applications in classification of kaolinit soils. *Geoderma*, v.29, p.27-39, 1983.

KARLEN, D. L.; EASH, N. S.; UNGER, P. W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. *American Journal of Alternative Agriculture*, v.7, p.48-55, 1992.

KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil Tillage Research*, v.105, p.192-199, 2009.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, v.170, p.75-86, 1995.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. *Geonomos*, v.5, p.17-40, 1997.

KER, J. C. Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. 1995. 181p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

KER, J. C.; RESENDE, M. Recursos edáficos dos Cerrados: Ocorrência e potencial. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no Cerrado, Planaltina, 1996. Anais. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-CPAC, 1996. p.15-19.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Cobertura do solo na integração lavoura pecuária. In: SIMPÓSIO DE GADO DE CORTE, 5., Viçosa, MG, 2006. Anais... Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.81-156.

KUMADA, K. Chemistry of soil organic matter. Amsterdam: Elsevier, 1987. 241p. (Developments in Soil Science, 17).

KUZYAKOV, Y.; FRIDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology Biochemistry*, v.32, p.1485-1498, 2000.

LAMAR, R.; BRESSON, L. M. Etat d'aggregation et role du fer dans des horizons fersiallitiques: analyse de donnees. *Science du sol*, v.27, p.243-256, 1989.

LANDERS, J. N. Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture: the Brazilian experience. *Integrated Crop Management*, v.5, p.1-92. 2007.

LEDGARD, S. F.; FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. Variations in natural enrichment of ¹⁵N in the profiles of some Australian Pasture Soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.22, p.155-64, 1984.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.821-832, 2003.

LIGO, M. A. V. Efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar sobre a dinâmica da matéria orgânica e sua relação com os agregados do solo. 2003. 76f. Tese (Doutorado em Energia

Nuclear na Agricultura). Centro Nuclear de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOPES, A. S.; COX, E. R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. *Agronomy Journal*, v.69, p.828-831, 1977.

LOPES, S. A.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 110p. 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.867-874, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção. *Ciência Rural*, v.39, p.1067-1072, 2009b.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae*, v.1, p.57-64, 2010a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, v. 69, p. 913-922, 2010b.

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. No prelo, 2011a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BEUTLER, S. J.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v.14, p.699-708, 2011b.

LUNDQUIST, E. J., JACKSON, L. E., SCOW, K. M., HSU, C. Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of Rye into three California agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.31, p.221-236, 1999.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*, v.2, p.133-171, 1985.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, P. L. A. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v.28, p.329-334, 2005.

MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo: Um procedimento para a estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 6p. (Comunicado Técnico, 9).

- MACHADO, P. L. O. A.; GERZABEK, M. Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a typic haplorthox from southern Brazil. *Soil Tillage Research*, v.26, p.227-236. 1993.
- MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; CASTRO, A. A. J. F.; NOGUEIRA, C.; RAMOS NETO, M. B. Caracterização da Fauna e Flora do Cerrado. In: Faleiro, F.; Farias Neto, A. L. (Org.). *Savanas - desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2008, p. 285-300.
- MAIA, S. M. F. XAVIER, F. A. S.; SENNA, O. T.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, v.71, p.127-138, 2007.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v.42, p.873-882, 2007.
- MARCHAO, R.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop livestock management systems. *Soil Tillage Research*, v.103, p.442-450, 2009.
- MARQUES J. J.; CURI, N. E LIMA, J. M.; Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG) *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.235-240, 1992.
- MARTIN, A.; MARIOTTI, A.; BALESSENT, J.; LAVELLE, P.; VUATTOUX, R. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by ¹³C natural abundance measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, v.22, p. 517-523. 1990.
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S. B.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 143 p.
- MARTINS, M. R.; CORA, J. E.; JORGE, R. F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil Tillage Research*, v.104, p.22-29, 2009.
- MATSUI, E. Utilização de isótopos estáveis em pesquisas. *Journal Brasileiro de Ciencia*, v.1, p.73-76, 1981.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Proceedings Clays and Clay Mineral Conference*, v.7, p.317-327, 1960.
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo vermelho-escuro sob plantio Convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p. 435-443, 2003.
- MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Influence of organic matter on the charges of soils from the cerrado Region Brazil. In: SENESI, N.; MIANO, T. M., (Ed) *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.661-666.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. 1ª ed. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda, 107p. 2005.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F; CAMARGO, P. B.; LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J. Identificação de mudanças florestais por ^{13}C e ^{15}N dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 314-319, 2010.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; ANTUNES, M. V. A. M. Propriedades químicas e biológicas de solos de Tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.201-207, 2000.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª ed. Porto Alegre, 2008, p. 1-5.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ V., V. H., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3., p.209-248.

MODENESI, M. C; MATSUI, E; VOLKOFF, B. Relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nos horizontes húmiferos superficiais e nos horizontes escuros profundos do solo de Campos do Jordão, São Paulo, Brasil. In: *Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo*, Piracicaba, 1982. Anais... Piracicada: Esalq-USP, 1982. p.155-160.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; FILHO, W. V. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.167-175, 2007.

MUGGLER, C. C.; BUURMAN, P.; VAN DOESBURG, J. D. J. Weathering trends and parent material characteristics of polygenetic oxisols from Minas Gerais, Brazil: 1. Mineralogy. *Geoderma*, v.138, p. 39-48, 2007.

MUGGLER, C. C.; GRIETHUYSEN, C.; BUURMAN, P.; PAPE, T. Aggregation, organic matter, and iron oxide morphology in oxisols from Minas Gerais, Brazil. *Soil Science*, v.164, p.759-770, 1999.

NASCIMENTO JR., D.; CAVALCANTE, M. A. B. Reciclagem de excreções animais na pastagem. 2001. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/vermat.asp?codmat=39>>. Acesso em: 10 Mai. 2009.

OADES, J. M. The retention of soil organic matter in soils. *Biogeochemistry*, v.5, p.35-70, 1988.

OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: Univesyti of Hawaii Press, 1989. p.69-95.

O'BRIEN, B. J.; STOUT, J. D. Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, v.10, p.309- 317. 1978.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. *Quimica Nova*, v.31, p.1733-1737, 2008.

- OLIVEIRA, O. C. Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado Brasileiro. 2000. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CAMARGO, P. B. Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma Mata de Galeria: efeito do gradiente topográfico. Boletim de Pesquisa da Embrapa Cerrados, v.127, p.1-24, 2004.
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; SÁ MENDONÇA, E. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho sob duas coberturas vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1109-1118, 2007a.
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; SÁ MENDONÇA, E.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e Carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo vermelho distrófico sob duas Coberturas vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1119-1129, 2007b.
- PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.1031-1040, 2009a.
- PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. Soil Tillage Research, v.105, p.149-155, 2009b.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 911-920, 2008.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.1-6, 2010.
- PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.950-955, 1994.
- PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A. ¹⁵N natural abundance in forest and pasture soil of the Brazilian Amazon basin. Plant and Soil, v.182, p.249-258, 1996.
- PILLON, C. N. Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzido por sistemas de culturas em plantio direto. Porto Alegre, 2000. 232p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Ciclagem da matéria orgânica em sistemas agrícolas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 27p.
- PILLON, C. N.; SANTOS, D. C.; LIMA, C. L. R.; ANTUNES, L. O. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. Ciência Rural, v.41, p.447-453. 2011.
- PINHEIRO, E. F. M. Fracionamento Físico e Caracterização da Matéria Orgânica do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. 2007. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo)

- Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.731-737, 2004.

PINHEIRO-DICK, D.; SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physico-chemical treatments. *Geoderma*, v.74, p.49-63, 1996.

PLANTE, A. F., MCGILL, W. B. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil Tillage Research*, v.66, p.79-92, 2002.

PRESTON, C. M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. *Soil Science*, v.161, p.144-166, 1996.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com café em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.429-437, 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1609-1623, 2007.

REATTO, A.; MARTINS, E. S. Classes de solos em relação aos controles da paisagem do Bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C.; FELFINI, J. M. *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. 1 ed. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p. 47-59.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.359-417. 2008.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para classificação de Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, Rio de Janeiro, 1988. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA- SNLCS/SBCS, p.225-232. 1988.

RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa, MG, NEPUT, 1995. 304p.

RILLING, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, v.171, p.41-53, 2006.

RIZZINI, C. T. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Âmbito cultural edições Ltda, Rio de Janeiro. 747p. 1997.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayed B horizons of savanna Oxisols. *Soil Science*, v.133, p.378-382, 1982.

RODRIGUES, T. E.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.2, p.132-139, 1978.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.911-923, 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a Cerrado sensu-stricto from Southeast Brazil as revealed by changes in $d^{13}C$. *Geoderma*, v.95, p.141-160, 2000.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Embrapa: Dourados, 86p. 2002.

ROSSI, C.Q. Dinâmica da matéria orgânica do solo em área de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ROTH, C. H.; WILCZYNSKI, W.; CASTRO FILHO, C. C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Zeitschrift Pflanzenernaehrung und Bodenkunde*, v.155, p.175-179, 1992.

RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; FARO, M. P. S.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S.; SANTOS, M. M. L. S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo de uma topossequência na Ilha de Algodão/ Maiandeuá, PA. *Boletim do Museo Paraense Emílio Goeldi, série. Ciências Naturais*, v.1, p.227-234, 2005.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S. P.; PAULLETTI, V.; NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. *Revista Plantio Direto*, v.84, p.45-61, 2004.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; DICK, W. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Research*, v.104, p.56-64, 2009.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Research*, v.103, p.46-56, 2009.

SAAB, S. C.; MARTIN-NETO, L. Anéis aromáticos condensados e relação E_4/E_6 : estudo de ácidos húmicos de gleissolos por RMN de ^{13}C no estado sólido utilizando a técnica CP/MAS desacoplamento defasado. *Química Nova*, v.30, p.260-263. 2007.

SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.11-21, 2008.
- SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; ASNER, G. P.; STEINKE, E. T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. *International Journal of Remote Sensing*, v.28, p.2739-2752, 2007.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.153-156, 2008.
- SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. GEO Brasil 2002. Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. -Brasília: Edição IBAMA, 2002, 440p.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.123-131, 2007.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. *Zeitschrift Pflanzenernaehrung und Bodenkunde*, v.105, p.194-202. 1964.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. *Soil Science*, v.162, p.795-807, 1997.
- SILVA, P. A. H. Cerrados, campos e araucárias: a teoria dos refúgios florestais e o significado paleogeográfico da paisagem do Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR. 146f. 2009. Mestrado (Dissertação em Paisagem e Análise Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba.
- SILVA, A. A.; GALON, R.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRLONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista Ceres*, v.56, p.496-506, 2009.
- SILVA, A. J. N., CABEDA, M. S. V., CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.10, p.579-585, 2006.
- SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.593-602, 1999.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERRETA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (2ª Ed.) Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.73-99.
- SILVA, V. J.; CAMARGO, R.; WENDLING, B.; PIRES, S. C. Integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto no Cerrado brasileiro. *Enciclopédia Biosfera*, v.7, p.1-12, 2011.
- SILVA NETO, L. F.; INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; DICK, D. P.; TONIN, A. T. Óxidos de ferro em Latossolos tropical e subtropical brasileiros em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1873-1881, 2008.

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*, v.40, p. 283-290, 2010.

SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde, GO. 2006. 112f. Tese (Doutorado em Agricultura). Pós-Graduação no Centro Nuclear de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SIQUEIRA NETO, M. PICCOLO, M. C.; COSTA JR., C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p. 63-76. 2011.

SIQUEIRA NETO, M.; M. PICCOLOPICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JR, C.; CERRI, C. C. CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.31, p.709-717, 2009.

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 Tillage Research*, v.76, p.39-58, 2004.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research*, v.79, p.7-31, 2004.

SIX, J.; ELLIOT, K.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.62, p.1367-1377, 1998.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, v.32, p.2099-2103, 2000.

SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P.; TAYLOR, J. A.; OADES, J. M.; McCLURE S. G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Australian Journal of Soil Research*, v.34, p.251-271, 1996.

SLEPETIENE, A.; SLEPETYS, J. Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma*, v.127, p.207-215, 2005.

SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, v.47, p.380-384. 1971.

SOHI, S., MAHIEU, N., ARAH, J.R.M., POLWSON, D.S.P., MADARI, B., GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.1121-1128. 2001.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma*, v.74, p.65-105, 1996.

SOUTO, M. S. Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: Produção de leite e características do solo. 2006. 80p. (Dissertação de Mestrado). Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, G. A. Estudo comparativo de propriedades de Latossolos do Brasil. 105f. 1979. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.1113-1122, 2003.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.28, p.323-329, 2006.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetidos a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V.G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.79-88, 2010a.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p. 1365-1374. 2010b.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2ª ed. New York: J. Wiley, 1999. 427p.

STEVENSON, F. J.; ELLIOTT, E. T. Methodologies for assessing the quantity and quality of organic matter. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems: NIFTAL Project. Honolulu: University of Hawaii, p.173-199, 1989.

STEVENSON, F. J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. John Wiley and Sons: New York. 345p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, p.1011-1020, 1996.

SZAKÁCS, G. G. J. Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 105p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Programa de Pós-Graduação em Ciências. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TAN, K. P. Infraed spectroscopy. In.: TAN, H. H. Ed. Soil sampling, preparation and analysis. New York, Marcel Dekker, p. 278-298. 1996.

TEDESCO, M.J., VOLKWEISS, S.J., BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 188p. 1995.

THURMAN, E. M. Organic geochemistry of natural waters. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985, 1985. 497 p.

- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, v.62, p.141-163, 1982.
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. *European Journal Soil Science*, 45, p.45-51, 1994.
- TOWNSEND, C. R.; PEREIRA, R. G. P.; COSTA, N. L. Considerações sobre sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2009. 29 p.
- Van RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 285p. 1997.
- VARGAS, I. A. Território, identidade, paisagem e governança no pantanal mato-grossense: um caleidoscópio da sustentabilidade complexa. 283f. 2006. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- VENDRAME, P. R. S. Relações entre a mineralogia, fertilidade, acidez e macrofauna em latossolos do cerrado sob pastagem. 103f, 2008. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, 2001. 184f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 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.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.743-755, 2009.
- VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDERSON, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Science Society of American Journal*, v.53, p.773-778. 1989.
- WALKLEY, A.; BLACK, A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v.37, p.29-38, 1934.
- WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado: síntese terminológica e reações florística. 389f. 2006. Tese (Doutorado em Ecologia). Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade de Brasília, Brasília.
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.247-258, 2006.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science Plant Analise*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal American Society Agronomy*, v.28, p.337-351, 1936.

ZANELLI, R.; EGLI, M.; MIRABELLA, A.; GIACCAI, D.; ABDELMOULA, M. Vegetation effects on pedogenetic forms of Fe, Al and Si and on clay minerals in soils in Southern Switzerland and Northern Italy. *Geoderma*, v.141, p.119-129, 2007.

ZECH, Z.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.

ZHANG, X. H, LI, L. G; PAN, G. X. Topsoil organic carbon mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence. *Journal Environmental Science*, v.19, p.319–326, 2006.

ZIBILSKA, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A. & WOLLUM, A. *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.835-863. (Book Series, 5)

ZOTARELLI, L. Influência do Sistema de Plantio Direto e Convencional com Rotação de Culturas na Agregação, Acumulação de Carbono e Emissão de Óxido Nitroso num Latossolo Vermelho Distroférrico. 2005. 117f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.