

ISSN 1679-0456

Dezembro, 2005

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agropecuária Oeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 29

Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul

Júlio Cesar Salton
João Mielniczuk
Cimélio Bayer
Amoacy Carvalho Fabricio
Manoel Cláudio Motta Macedo
Dirceu Luiz Broch
Madalena Boeni
Paulo Cesar Conceição

Dourados, MS
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agropecuária Oeste

BR 163, km 253,6 - Trecho Dourados-Caarapó

Caixa Postal 661 - 79804-970 Dourados, MS

Fone: (67) 3425-5122 - Fax: (67) 3425-0811

www.cpao.embrapa.br

E-mail: sac@cpao.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Renato Roscoe*

Secretário-Executivo: *Edvaldo Sagrilo*

Membros: *André Luiz Melhorança, Clarice Zanoni Fontes,*

Eli de Lourdes Vasconcelos, Fernando Mendes Lamas, Vicente de

Paulo Macedo Gontijo e Walder Antonio de Albuquerque Nunes

Supervisão editorial, Revisão de texto e Editoração eletrônica:

Eliete do Nascimento Ferreira

Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*

Ilustrações: *Júlio César Salton*

Foto da capa: *Luís Armando Zago Machado*

1ª edição

(2005): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei Nº 9.610).

CIP-Catálogo-na-Publicação.

Embrapa Agropecuária Oeste.

Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato
Grosso do Sul / Júlio Cesar Salton ... [et al.]. Dourados:
Embrapa Agropecuária Oeste, 2005.

58 p. : il. color. ; 21 cm. (Boletim de Pesquisa e
Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456 ;
29).

1. Solo - Matéria orgânica - Integração lavoura-pecuária - Brasil -
Mato Grosso do Sul. 2. Matéria orgânica - Integração lavoura-
pecuária. 3. Integração lavoura-pecuária - Matéria orgânica - Solo -
Brasil - Mato Grosso do Sul. I. Salton, Júlio Cesar. II. Embrapa
Agropecuária Oeste. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed) 631.42098171

© Embrapa 2005

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução e Revisão Bibliográfica	9
1.1. Práticas de manejo do solo em uso na região	9
1.2. Matéria orgânica do solo e agricultura	12
1.3. Adição de C por lavouras	19
1.4. Adição de C por pastagens	22
1.5. Agregação do solo	24
2. Material e Métodos	26
2.1. Áreas experimentais	26
2.2. Amostragens	29
2.3. Fracionamento da MOS	29
2.4. Estabilidade dos agregados do solo	30
2.5. Análise estatística	30
3. Resultados e Discussão	31
3.1. Teor de C no perfil do solo	31
3.2. Estoque de C orgânico no solo	33
3.3. Frações da MOS	35
3.4. Retenção (seqüestro) de C no solo	39
3.5. Agregação do solo	42
4. Conclusões	50
5. Referências	53

Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul¹

Júlio Cesar Salton²

João Mielniczuk³

Cimélio Bayer³

Amoacy Carvalho Fabrício²

Manoel Cláudio Motta Macedo⁴

Dirceu Luiz Broch⁵

Madalena Boeni⁶

Paulo Cesar Conceição⁶

Resumo

Nas condições ambientais da Região Centro-Oeste do Brasil, o plantio direto (PD), aliado à rotação de culturas e pastagens, é apontado como a forma de manejo do solo mais adequada para conciliar produtividade com sustentabilidade. Os efeitos deste sistema de manejo sobre a dinâmica da matéria orgânica (MOS) e a agregação do solo foram estudados a partir da avaliação de três experimentos de longa duração, localizados em Mato Grosso do Sul. As avaliações consistiram na determinação do teor e dos estoques de carbono orgânico total (COT) e de C nas frações da MOS, particulada (MOP) e associada aos minerais do solo (MOM). Foram determinados também,

⁽¹⁾Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, trabalho desenvolvido com apoio financeiro da Fundação Agrisus e da Fundect.

⁽²⁾ Eng. Agrôn., Dr., *Embrapa Agropecuária Oeste*, Caixa Postal 661, 79804-970 - Dourados, MS. E-mail: salton@cpao.embrapa.br; amoacy@cpao.embrapa.br.

⁽³⁾ Eng. Agrôn., Dr., Professor Fac. Agronomia da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, 91549-000. Porto Alegre, RS

⁽⁴⁾ Eng. Agrôn., Dr., *Embrapa Gado de Corte*, Rod. BR 262, km 04, 79002-970 Campo Grande, MS.

⁽⁵⁾ Eng. Agrôn., M.Sc. Fundação MS, Estrada da Usina Velha km 2, 79150-000 Maracaju, MS.

⁽⁶⁾ Eng. Agrôn., M.Sc., PPG-Solos/UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, 91549-000 Porto Alegre, RS.

a agregação do solo via peneiramento em água e a seco, o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA). Os sistemas de manejo foram constituídos de lavouras em PD, pastagens permanentes e rotação de lavouras (soja) com pastagem em PD, além de área com vegetação natural. Os sistemas de manejo contendo pastagens, de forma isolada ou em rotação com lavouras, apresentaram os maiores estoques de COT e maior agregação do solo. Verificou-se importante efeito das pastagens na formação de macroagregados, cuja estabilidade se relacionou positivamente com a concentração de COT no solo. As taxas médias de acúmulo de C no solo (0 a 20 cm) para os sistemas com rotação lavoura-pastagem foram de $0,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, calculados em relação a lavouras em PD.

Termos para indexação: plantio direto, soja, *Brachiaria* sp., carbono, agregados, ambiente tropical.

Soil Organic Matter on Crop-Pasture System in Mato Grosso do Sul, State, Brazil

Abstract

In the environment of West-Central region of Brazil, the no-tillage (NT), associated to the annual crop and pastures rotation, is recognized as the soil management more adapted to reconcile productivity with sustainability. The effects of management systems, were studied in three long-term experiments, located in state of Mato Grosso do Sul, Brazil. The aggregation and the dynamics of the soil organic matter (SOM), were evaluated with relation to the concentration and the stocks of total organic carbon (TOC) and of C in its fractions, as particulate soil organic matter (POM) and associated to the minerals of the soil (MOM). It was also determined the aggregation of the soil through dry and wet sieving method, the mean weight diameter (MWD) and the index of aggregates stability (IAE). The management systems studied was constituted of annual crops under NT, continuous pastures, crop-pasture rotation with soybean under NT, and natural vegetation (NV) area. The systems with continuous pastures or in rotation with crops, presented the largest stocks of TOC and larger aggregation of the soil. Important effect of the pastures was verified in the formation of macro-aggregates, whose stability was positively related with the concentration of TOC in the soil. The relationships among the

accumulation of C in the soil and the protection provided by the occlusion of POM and the decomposition difficulty of MOM inside the aggregate also are discussed. The medium rates of accumulation of C in the soil (0 to 20 cm) in comparison to the annual crop system, for crop-pasture system were of $0.42 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

Index terms: no-till system, soybean, *Brachiaria* sp., soil carbon, aggregation, tropical environment.

1. Introdução e Revisão Bibliográfica

Atualmente a Região Centro-Oeste ocupa posição de destaque no setor agrícola brasileiro, concentrando o maior rebanho bovino de corte, superior a 65 milhões de cabeças em mais de 45 milhões de hectares de pastagens cultivadas, bem como expressiva produção de carnes de aves e suínos. Nos últimos anos, esta região vem apresentando elevadas taxas de crescimento nos índices de produtividade de grãos e fibras, com intensa expansão da área de cultivo, ultrapassando 10 milhões de hectares com soja na safra 2004/05, tornando-se importante produtora de grãos (soja, milho, arroz), fibras (algodão), cana-de-açúcar, mandioca e tomate.

A agricultura, no entanto, apresenta elevada vulnerabilidade às condições climáticas e variações nas cotações de preço no mercado. Para amenizar tais problemas recomenda-se a utilização de práticas adequadas de manejo do solo, como o Plantio Direto e a diversificação das atividades, através da integração lavoura-pecuária.

Este estudo foi realizado para avaliar em condições tropicais o efeito da introdução de pastagem permanente de gramínea, de forma alternada com culturas como a soja, em Plantio Direto. A pesquisa teve como hipótese a possibilidade de obter-se maior aporte de carbono e seu acúmulo no solo com a alternância de lavouras e pastagens, do que em cultivos isolados. Também foi buscado maior entendimento das relações entre a MOS e a formação e estabilidade dos agregados do solo.

1.1. Práticas de manejo do solo em uso na região

A Região Centro-Oeste apresenta sérios problemas quanto à conservação dos recursos naturais, onde cerca de 60% da área

ocupada com pastagens encontra-se em avançado processo de degradação. Tal situação decorre principalmente do superpastejo, ou seja, a manutenção de carga animal superior à capacidade de suporte da pastagem, além da ausência de adubação corretiva e de manutenção (Macedo, 2000).

Nas áreas com lavouras verifica-se a predominância da monocultura da soja, que ocupa mais de 80% da área cultivada no verão. Como este percentual se mantém estável no tempo, pode-se deduzir que a utilização de rotação de culturas, ocorra no máximo, em apenas 20% da área. Outro problema presente é a não ocupação do solo durante todo o período do ano. Na safra 2004/2005, mais de 13 milhões de hectares foram cultivados no verão e apenas 6,1 milhões de hectares foram cultivados no período de outono/inverno (Tabela 1). Isto implica em que mais da metade da área cultivada no período das águas fica sem cobertura em metade do ano, desta forma, com reduzido aporte de resíduos de culturas e sem proteção da superfície do solo. Esta ocorrência é muito grave e inviabiliza a utilização de tecnologias extremamente necessárias para este ambiente, como o Sistema Plantio Direto (SPD),

Apesar da aparente expansão da utilização do PD, este não é adotado em sua plenitude, pois, como relatado acima, a maior parte da área não utiliza culturas para cobertura do solo na entressafra e rotação de culturas, pressupostos básicos para a execução do SPD. Há ainda expressiva área com o uso de sistema convencional de preparo do solo, com intensa utilização de grades de discos. Estas práticas têm induzido a uma série de problemas ambientais, como a degradação dos solos (compactação, erosão), a poluição e assoreamento de mananciais, maior ocorrência e severidade do ataque de pragas e doenças nas plantas, aumentos nos custos de produção, crescente dependência de insumos químicos além de maior suscetibilidade à ocorrência de estiagens.

Tabela 1. Estimativa da área cultivada com as principais culturas nos Estados da Região Centro-Oeste na safra 2004/2005.

Período de cultivo	Culturas	Estado				Região Centro-Oeste
		MT	MS	GO	DF	
	 ha x 1000.....				
Primavera e verão	Algodão	451,6	58,9	143,7	4,2	658,4
	Arroz	776,9	55,4	182,3	0,1	1.014,7
	Milho	133,7	81,7	424,5	26,8	666,7
	Soja	6.024,1	2.030,8	2662,0	59,0	10.775,9
	Feijão	1,9	1,5	34,7	9,7	47,8
	Total	7.388,2	2.228,3	3.447,2	99,8	13.163,5
Outono e inverno	Milho	880,0	407,1	172,3	6,7	1.466,1
	Girassol	14,4	5,2	8,5	0,3	28,4
	Sorgo	105,6	56,9	276,5	3,5	442,5
	Trigo	0,5	136,0	21,7	1,2	159,4
	Feijão	35,3	17,6	73,7	4,4	131,0
	Aveia ⁽¹⁾	15,0	300,0	50,0	1,0	346,0
	Milheto ⁽¹⁾	2.000,0	350,0	1.200,0	10,0	2.560,0
	Total	3.050,8	1.272,8	1.802,7	27,1	6.153,4

Fonte: CONAB, 2005.

⁽¹⁾Estimativa dos autores.

Este modelo de produção agrícola estimula perdas de carbono orgânico do solo pela atividade microbiana e através da erosão, reduzindo o potencial produtivo do solo e liberando gases de efeito estufa para a atmosfera, contribuindo para o aumento da temperatura do planeta. Como alternativa para amenizar tais problemas é apontada a adoção do SPD que, ao incluir sistemas de rotação de culturas, pode ser uma forma de manejo viável para, principalmente através do acúmulo de matéria orgânica no solo, minimizar ou eliminar esses problemas e obter aumentos gradativos e sustentáveis de produtividade com a melhoria da qualidade ambiental.

1.2 Matéria orgânica do solo e agricultura

A matéria orgânica é o componente que está mais diretamente relacionado com a qualidade do solo (Mielniczuk, 1999), a qual é definida como a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural, sustentando a produtividade biológica, mantendo ou melhorando a qualidade ambiental e promovendo a saúde das plantas e dos animais (Doran & Parkin, 1994). Aspectos relacionados com o acúmulo da matéria orgânica do solo (MOS), por ser altamente sensível ao sistema de manejo adotado e correlacionar-se com a maioria dos atributos relacionados à qualidade do solo, são utilizados como indicador da qualidade. Com o acúmulo de MOS e ativação de vários processos no solo, manifestam-se diversas "propriedades emergentes", como a maior resistência à erosão, maior taxa de infiltração e retenção de água no solo, aumentos na capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no seqüestro de carbono atmosférico, na atividade e diversidade biológica do solo e na resistência a perturbações (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al., 2003).

A Fig. 1 apresenta um modelo conceitual para o sistema de produção envolvendo lavouras e pastagens, sob a ótica da dinâmica do carbono no ambiente. Neste modelo, o fluxo de energia é representado pelo fluxo de carbono, que inicia com a transformação da energia luminosa em matéria, através da fotossíntese no subsistema Vegetal. A seqüência deste fluxo de carbono no sistema de produção resulta na produção de grãos e de carne que são exportados. Uma parcela do C que entrou no sistema, transformado pela ação da biota do solo e não exportada ou perdida do sistema, pode ser armazenada no subsistema Solo como matéria orgânica (MOS), que interage com a matéria mineral do solo formando agregados, cujos tamanhos e estabilidade são dependentes, principalmente, da intensidade do fluxo de C para o solo. A quantidade de macro-agregados estáveis expressa a auto-organização do sistema, resultante de múltiplas e complexas

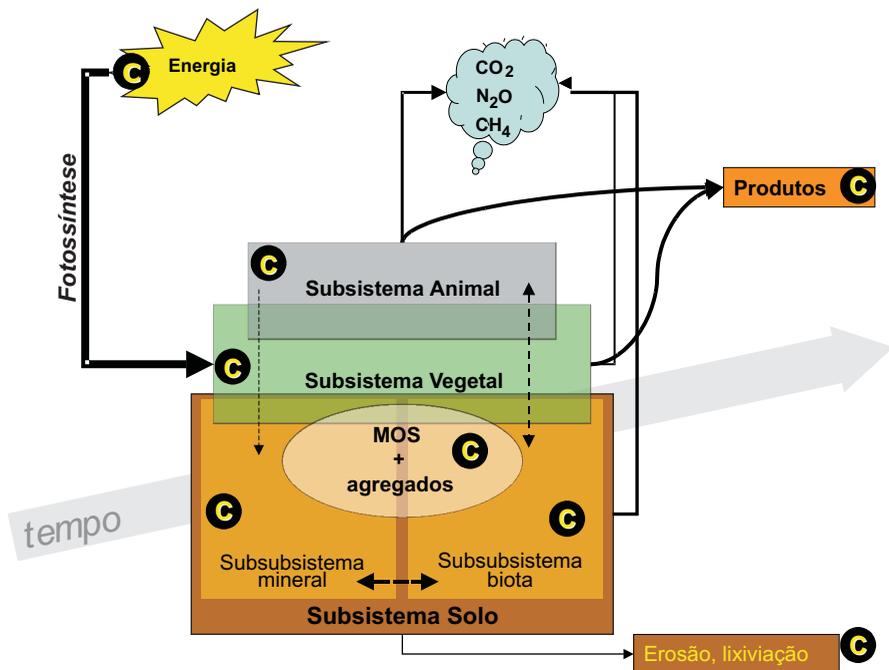


Fig. 1. Modelo conceitual de um sistema misto de produção agropecuária, com o carbono presente em todos os compartimentos e nas interações entre os componentes.

interações, em níveis crescentes de ordem. O atingimento de determinado nível de ordem possibilita a manifestação de propriedades emergentes do subsistema Solo, as quais são altamente desejáveis e relacionadas com a produtividade do sistema e qualidade do solo. Como a presença do subsistema Animal implica em efeitos diretos sobre os subsistemas Vegetal e Solo, são ampliadas as relações entre os compartimentos, tornando-as mais complexas. Como os fluxos de entradas e de saídas são dinâmicos ao longo do tempo, o nível de organização do sistema obedece à continuidade e magnitude destes fluxos, que, quando positivos, proporcionam aporte de energia para manutenção do mesmo em um nível de ordem superior, desta forma conferindo maior sustentabilidade e qualidade.

Este modelo conceitual de sistema de produção com integração lavoura-pecuária é uma ampliação do modelo proposto por Vezzani (2001) de funcionamento do sistema Solo, com a inclusão do subsistema Animal.

Desta forma, os sistemas de manejo do solo devem ter como objetivo, além da produção primária de qualidade, o aumento da MOS. O PD, pela ausência de revolvimento e manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, tem sido apontado como um dos meios para aumentar o armazenamento da MOS e, conseqüentemente, proporcionar a ativação das propriedades emergentes citadas anteriormente. Contudo, não basta apenas ausência de revolvimento do solo, mas também a adoção de sistemas de rotação que envolvam culturas com elevada relação C:N e grande adição de fitomassa, que são fundamentais a este processo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Bayer et al., 2000).

O estoque de carbono orgânico, principal componente da MOS, varia em função de sua taxa de perda, que envolve aquelas decorrentes da erosão e oxidação microbiana, e de sua taxa de adição por resíduos vegetais ou esterco animais. Em solos sob vegetação natural, como não há influência da agricultura, o estoque de carbono orgânico é determinado, principalmente, pelas condições climáticas como temperatura e ocorrência de chuvas, e pelo tipo de solo, devido a influências destes fatores nas taxas de adição e de perda (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Uma forma de abordar a dinâmica da MOS é considerar os fluxos de entrada e saída durante um período de tempo, sendo que a quantidade de MOS presente no solo é o resultado da diferença entre a quantidade adicionada e a quantidade perdida. Este balanço pode ser representado de forma simplificada, por um modelo uni-compartimental como o proposto por Hénin & Dupuis (1945), no qual consideram-se as adições e taxas de transformação de carbono para um período de tempo, conforme a Fig. 2.

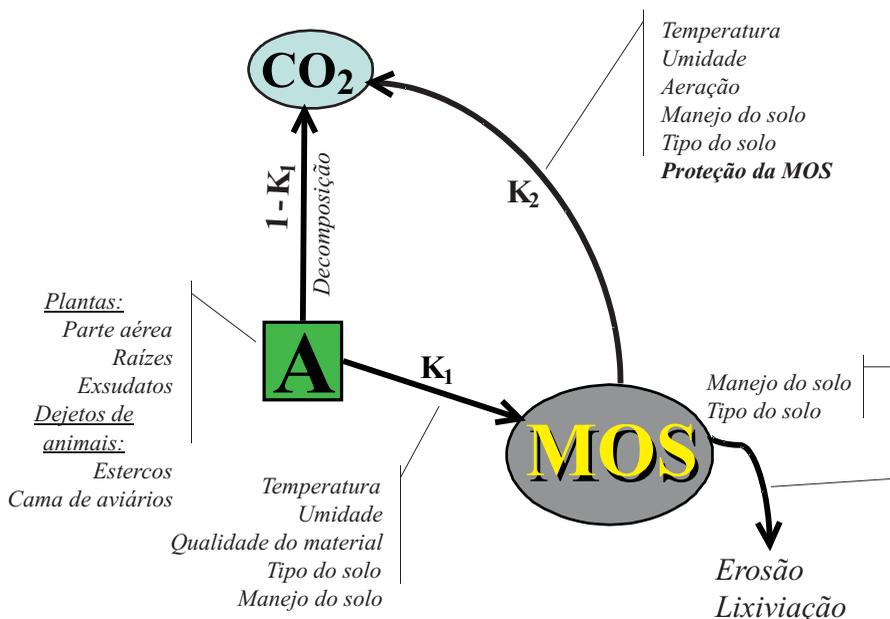


Fig. 2. Esquema simplificado demonstrando a dinâmica do carbono no solo, adaptado do Modelo de Hénin-Dupuis (Hénin & Dupuis, 1945).

Em solos agrícolas, além destes fatores mencionados acima, os estoques de matéria orgânica dependem do sistema de manejo adotado. Normalmente, a taxa de perda é diretamente relacionada à intensidade de revolvimento do solo, pelos seus efeitos na erosão hídrica e sobre fatores que afetam a atividade microbiana e exposição da matéria orgânica aos microrganismos e suas enzimas (Gregorich et al., 1995; Balesdent et al., 2000). Desta forma, solos submetidos a sistemas de preparo convencional com revolvimento do solo por gradagens apresentam um decréscimo expressivo nos estoques de MOS. A magnitude destes efeitos depende do clima, do tipo de solo e sistemas de cultura utilizados. Em regiões tropicais, como a Região Centro-Oeste, as taxas de perda da matéria orgânica são até cinco vezes maiores do que em regiões temperadas, nas quais as temperaturas médias são menos elevadas (Sanchez & Logan, 1992).

Na Fig. 2 o modelo simplificado da dinâmica do C no solo, o item A representa o carbono adicionado ao solo pelas culturas, do qual uma parcela é prontamente decomposta e perdida para a atmosfera como gás carbônico e a outra parte passa a constituir a matéria orgânica do solo. A taxa de material que é transformado em MOS é representado por K_1 e é influenciado por fatores climáticos, tipo do material (oriundo de leguminosas ou gramíneas, p.ex.), sistema de manejo do solo (PD ou PC), entre outros. A MOS pode permanecer no solo cumprindo suas várias e importantes funções ou ter dois destinos, que são dependentes do ambiente e da forma utilizada de manejo do solo. Um dos destinos corresponde à saída do sistema através da erosão e/ou lixiviação. No entanto, o principal destino do C do solo é para a atmosfera, que se dá através da atividade dos microrganismos no interior do solo, sendo a intensidade da decomposição da MOS relacionada com vários fatores como tipo do solo (textura e mineralogia), ocorrência e magnitude dos mecanismos de proteção presentes (agregação e interação com minerais).

Desta forma percebe-se que o acúmulo de C no solo e as melhorias decorrentes do aumento da MOS somente irão ocorrer quando a taxa de entrada de C no solo (k_1A) for maior que as taxas de perda de C (K_2C + erosão + lixiviação). Tal objetivo pode ser conseguido utilizando-se sistemas de manejo que aumentem a adição de C no solo, ou através de sistemas que dificultem ou reduzam as perdas.

Para elevação do teor da matéria orgânica no solo é necessário ampliar o aporte de carbono ao solo (A), que pode ser obtido pelo acúmulo de restos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas, pelas raízes das plantas, exudatos e micorrizas que irão se decompor, inicialmente pela ação da mesofauna do solo e, posteriormente, pela ação dos microrganismos. Estes processos são dependentes das condições ambientais (umidade e temperatura, além da capacidade produtiva das espécies vegetais e do sistema de manejo. Em áreas com pastagens, a deposição de dejetos pelos animais em pastejo pode constituir-se em importante fator de reciclagem e de concentração de carbono e nitrogênio no solo.

Como a MOS encontra-se em situações muito variáveis quanto ao grau de decomposição, composição química, tamanho, recalcitrância, proteção química e física, são utilizados métodos de fracionamento (químico ou físico) para classificar e quantificar sua presença no solo e os efeitos dos sistemas de manejo. No fracionamento físico granulométrico a MOS é subdividida na fração particulada e na fração associada aos minerais do solo (Fig. 3). A fração particulada é a parte lábil da MOS, aquela que responde prontamente aos sistemas de manejo do solo, especialmente ao aporte de material orgânico ao solo e operações de preparo do solo que alterem os fluxos de água e ar no interior do solo (Bayer et al., 2004). A fração associada aos minerais do solo é aquela mais estável, não apresentando sensibilidade imediata a alterações em práticas de manejo do solo; portanto, constitui-se no estoque de carbono à médio e longo prazo.

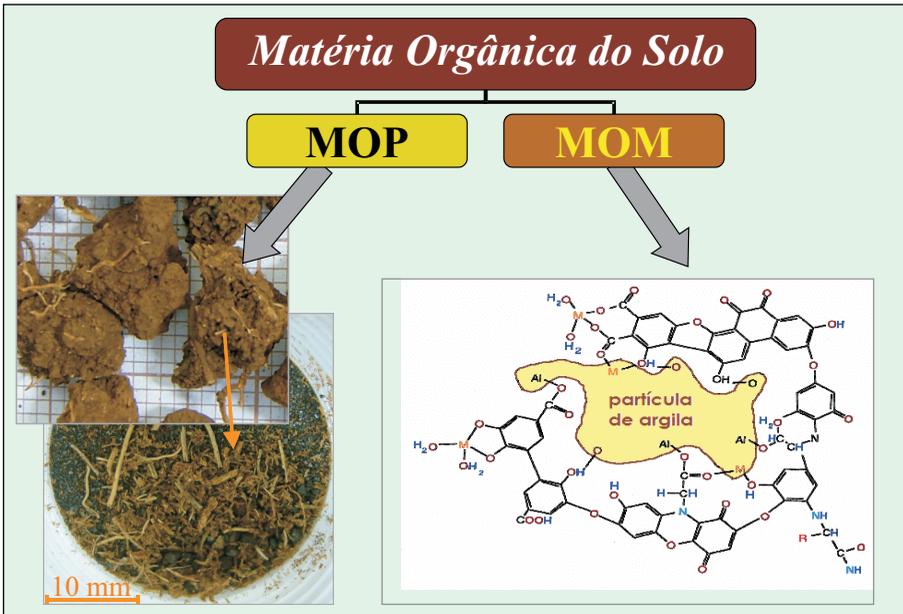


Fig. 3. Esquema ilustrando a obtenção de frações da MOS através do fracionamento granulométrico que a divide em matéria orgânica particulada (MOP) e em matéria orgânica associada aos minerais do solo (MOM). No detalhe da MOP podem ser observados resíduos de vegetais de vários tamanhos e raízes finas, estes materiais podem estar livres no solo ou intra-agregados como aparecem na imagem superior. Os complexos organo-minerais são formados por interações de várias formas entre os minerais (argila e silte) e compostos orgânicos, adaptado de Cornejo & Hermosín, 1996.

1.3. Adição de C por Lavouras

Para condições tropicais, Oliveira et al. (2004) verificaram maior acúmulo de MOS quando foi utilizado o Plantio Direto por 20 anos com soja, milho e arroz, em comparação a um sistema de preparo do solo com arado de discos, e área com vegetação natural sob Cerrado, num Latossolo Vermelho do Distrito Federal. Estes autores observaram teores de C significativamente inferiores para o uso do arado de discos nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, sendo semelhantes nas demais camadas avaliadas.

Além de maior exposição aos agentes de decomposição, o preparo do solo aumenta as perdas de MOS por erosão, como demonstrado por Hernani et al. (1999), que verificaram perdas seis vezes maiores para o sistema de preparo do solo com uso de grades de discos em comparação ao PD para a sucessão soja/trigo durante seis anos em Mato Grosso do Sul.

No Brasil, a maior quantidade de informações relacionadas aos estoques de MOS foram obtidas na Região Sul, com clima, solos e condições de manejo bastante diferentes das existentes na Região Centro-Oeste; contudo, foram observados efeitos semelhantes dos sistemas de preparo do solo em ambos os ambientes. Quanto aos sistemas de culturas, os efeitos tendem a ser comparativamente diferentes, pois a Região Centro-Oeste apresenta acentuada variabilidade na quantidade e distribuição das chuvas, o que afeta fortemente os sistemas de produção vegetal. Assim, onde o período seco é maior, cobrindo os meses de maio a setembro, os cultivos ficam limitados às safras de verão e de "safrinha". O desenvolvimento vegetal no período das "águas" é favorecido pela maior disponibilidade hídrica, elevada temperatura e luminosidade natural, enquanto as culturas de safrinha têm à disposição apenas as últimas chuvas do período chuvoso e o volume hídrico armazenado no solo, limitando o cultivo com fins comerciais a algumas regiões específicas, que apresentam microclimas mais favoráveis. Nestas safras de

safrinha, são geralmente utilizadas culturas para produção de cobertura do solo, visando à execução de plantio direto da cultura subsequente. Os melhores resultados são obtidos com o milho, que apresenta potencial de produção de massa seca entre 5 a 8 Mg ha⁻¹ (Salton & Hernani, 1994); considerando-se um acréscimo de 30% via sistema radicular pode superar a 4,5 Mg ha⁻¹ de carbono adicionado ao solo, dependendo das condições climáticas. Estima-se que mais de 2,5 milhões de hectares seja cultivados com milho na Região Centro-Oeste.

A maior parte das áreas cultivadas no verão em MT e GO são ocupadas com soja; cerca de 7,7 milhões de hectares na safra 2003/04, no entanto, como existem restrições aos cultivos no período de entressafra, estima-se que apenas 40% desta área seja ocupada com culturas durante este período. Em MS, onde as condições climáticas são mais adequadas aos cultivos na entressafra, cerca de 70% da área cultivada no verão é também cultivada na entressafra. Nesta região é possível, além da safrinha, também efetuar semeadura no outono/inverno, com aveia, trigo e nabo, e na primavera com milho ou sorgo, o que contribui para maior quantidade de massa vegetal produzida e conseqüente aumento nos estoques de MOS (Hernani et al., 1995).

Como a produção vegetal e a decomposição de seus resíduos são dependentes das mesmas condições de temperatura e disponibilidade hídrica, nos ambientes onde não há possibilidade de elevadas produções de massa vegetal as taxas de decomposição dos resíduos serão igualmente baixas. Desta forma, o escalonamento de sistemas de cultivo, de forma adequada às condições climáticas, pode favorecer o acúmulo ou a rápida decomposição dos resíduos.

De qualquer modo, para a obtenção de acúmulo de C no solo é necessário que a adição seja superior à decomposição. Mielniczuk et al. (2003) concluíram que para manter estável o estoque de COT no solo, para condições do Rio Grande do Sul, é necessária a adição de 4,4 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ para o PD e de 8,5 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para o PC.

Com os dados da Tabela 2 podem ser estimados os valores de adição de C em termos médios, para as condições de Mato Grosso do Sul podendo variar de 3,5 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ para seqüência soja/milho safrinha a 4,2 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ para a soja/milheto, mas com a adição de culturas de primavera poderia se obter até 5,4 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ para a seqüência aveia/soja/milho safrinha/milheto/soja, o que, no entanto, poucas áreas alcançam na prática.

Tabela 2. Potencial de aporte de C via parte aérea de algumas espécies cultivadas, em boas condições de fertilidade e clima, na região de Dourados, MS.

Período de cultivo	Espécie	C (Mg ha ⁻¹)	Fonte
Verão	Soja	1,0	Estimativa
	Milho	2,8	Estimativa
	Milho + Leguminosas	3,5	Salton (1993)
	Sorgo	1,4	Salton (1993)
Outono/inverno	Trigo	1,3	Hernani et al. (1995)
	Aveia	2,1	Salton (1993)
	Nabo	1,8	Salton (1993)
	Ervilhaca peluda	0,5	Hernani et al. (1995)
Primavera	Milheto	3,6	Salton & Hernani (1994)
	Sorgo	3,2	Salton & Hernani (1994)
Safrinha	Milho	2,5	Estimativa
	Sorgo	2,5	Estimativa
	Milheto	3,2	Salton & Kichel (1998)

1.4. Adição de C por pastagens

Diferente das florestas que armazenam grande quantidade de C na parte aérea das plantas, as pastagens apresentam a maior parte do C armazenado abaixo da superfície do solo e no sistema radicular. Tipicamente, o teor de MOS é maior na superfície e decresce com a profundidade. Cerca de 40% a 50% do C do solo pode ser armazenado até 30 cm e amostragens de até 60 cm quantificam cerca de 90% da biomassa radicular e do C orgânico do solo de ecossistemas com pastagens. Existe grande potencial das pastagens para acumular C ao solo, que pode ser potencializado com a adubação da pastagem, como demonstrado por Shunke (2000), que verificou em pastagem de *B. decumbens*, em Mato Grosso do Sul, aumento da massa seca das raízes, passando de 6,8 Mg ha⁻¹ para 7,7 Mg ha⁻¹ e da liteira que foi alterada de 10,9 Mg ha⁻¹ para 12,4 Mg ha⁻¹ com a utilização de adubação com fósforo e potássio.

O manejo das pastagens, ou a adequação da carga animal à oferta de forragem, é fator decisivo quando se pretende obter adequada produtividade. A capacidade de produção animal é resultado direto da produção vegetal, assim pode-se esperar que o manejo da pastagem possa ser relacionado com a capacidade da pastagem em seqüestrar C da atmosfera. Variações observadas nas relações entre manejo de pastagens e seqüestro de C podem ser atribuídas a diferenças no clima, atributos de solo, posição na paisagem, composição da comunidade de plantas e de práticas de manejo das pastagens.

As áreas com pastagens na Região Centro-Oeste são formadas predominantemente por espécies do gênero *Brachiaria*, principalmente a *B. decumbens* e *B. brizantha*, sendo a última mais exigente em fertilidade do solo, mas com maior potencial de produção de massa verde. Silva et al. (2004) avaliaram pastagens cultivadas quanto ao armazenamento de C em Latossolos argilosos dos Cerrados e verificaram na profundidade de até 1,0 m, que a magnitude de acúmulo variou entre 97,1 a 113,0 Mg ha⁻¹, concentrando-se nas

camadas superficiais, com cerca de 50% até 40 cm de profundidade. Nesta avaliação as espécies que proporcionaram maior acúmulo foram o *Panicum maximum*, *B. brizantha* e *Paspalum atratum*.

Estima-se que cerca de 60% das áreas com pastagens no Centro-Oeste estejam em elevado grau de degradação; nesta situação o acúmulo de C no solo é significativamente prejudicado. A redução no teor de C no solo pode estar associada à degradação das pastagens, como observado por Lilienfein et al, (2003) ao compararem duas pastagens de *B. decumbens*, em condição "degradada" e "produtiva", onde verificaram, entre outras variáveis, que os teores de C no solo (0 a 15 cm) foram de 22 e 27 g kg⁻¹, respectivamente.

Como esta região possui mais de 45 milhões de hectares com pastagens cultivadas e uma expressiva atividade pecuária, há facilidade de integração da produção animal com a agricultura. A integração lavoura-pecuária foi desenvolvida inicialmente para suprir de forragem o rebanho em períodos críticos através de suplementação alimentar e para recuperar as pastagens degradadas com o uso de corretivos e adubos custeados pela agricultura (Salton et al., 2001). A rotação de pastagens com lavouras, viabilizada pela rapidez e menor custo financeiro do plantio direto da cultura sobre a pastagem, apresenta-se como uma importante alternativa para a produção de massa vegetal sobre o solo, como também através do abundante sistema radicular produzido pelas pastagens. Experimentos conduzidos em MS apresentaram expressivo aumento no teor de MOS pelo uso de pastagem de braquiária, em rotação com soja, com ciclos de dois anos, alterando de 30 para quase 40 g kg⁻¹ na camada 0 a 5 cm, no período de apenas três anos (Fabrício & Salton, 1999).

1.5. Agregação do solo

Como resultado dos fluxos de energia e matéria que ocorrem entre os componentes do sistema agropecuário de produção, há formação de agregados no solo, que em uma escala crescente representa o grau de organização do solo. Em uma fase preliminar, a formação de micro-agregados, com diâmetro inferior a 0,25 mm, está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes, hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, de insetos e outros organismos estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, que são macro-agregados estáveis com tamanho superior a 0,25 mm. Tais estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resultam em nível de organização baixo, onde a estrutura do solo é simples, predominando a presença de micro-agregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo presença de agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas. Assim, solos que apresentem maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior a solo semelhante com menor agregação (Vezzani, 2001).

A Fig. 4 apresenta de forma esquemática os mecanismos de formação de agregados do solo, onde além dos minerais (argila, silte e areia) estão representadas as frações da matéria orgânica do solo (MOM e MOP). Também estão demonstrados os mecanismos de proteção do carbono em ambas as frações, através da oclusão no interior dos agregados.

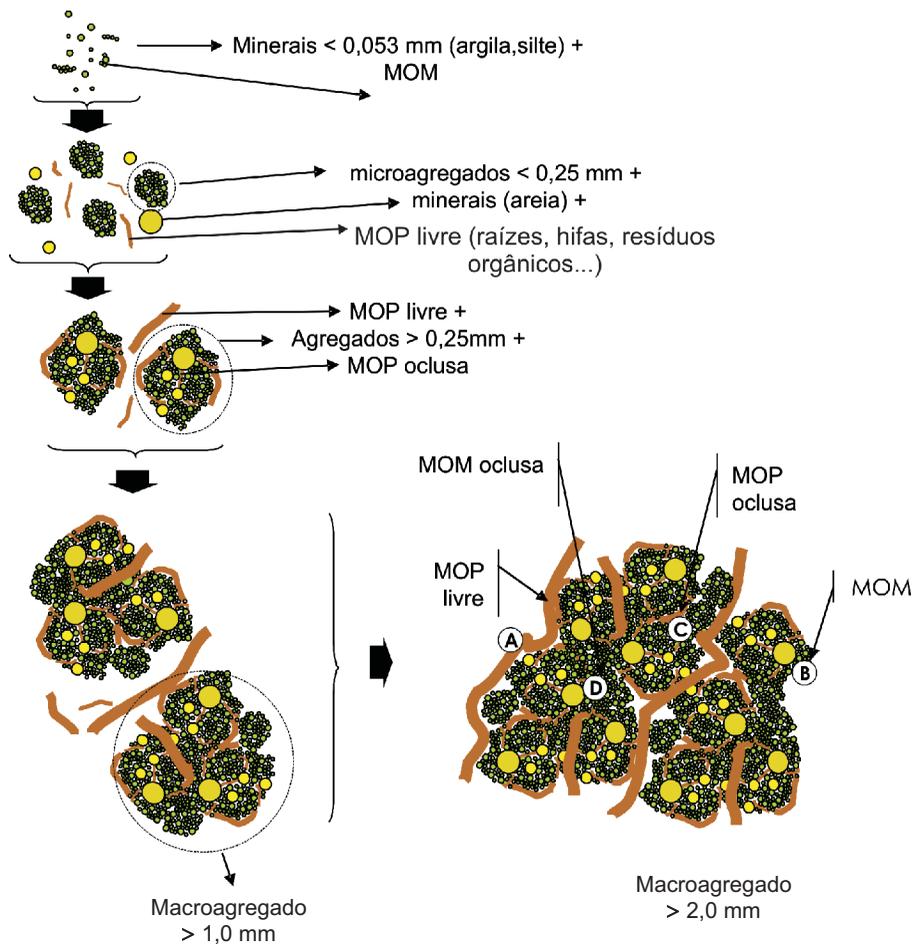


Fig. 4. Esquema ilustrando o processo de formação de macroagregados constituídos por partículas minerais e matéria orgânica em diferentes posições, classificada como MOP livre (matéria orgânica particulada livre), MOP oclusa (matéria orgânica particulada oclusa), MOM (matéria orgânica associada aos minerais). As letras indicam a maior suscetibilidade ao ataque pelos microrganismos decompositores, sendo o sítio A o mais suscetível e D o menos suscetível (A>B>C>D).

2. Material e Métodos

2.1. Áreas experimentais

O trabalho foi desenvolvido a partir de amostras de solo obtidas em abril de 2004, em experimentos com vários anos de duração, com sistema de manejo e históricos conhecidos, localizados em Dourados, Campo Grande e Maracaju, os quais estão sob a responsabilidade das instituições de pesquisa *Embrapa Agropecuária Oeste*, *Embrapa Gado de Corte* e Fundação MS, respectivamente.

Em Dourados, o experimento foi implantado em 1995, ocupando área de 28 ha de um Latossolo Vermelho distroférico típico, caulínítico, da área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, no Município de Dourados, MS. O solo possui teor médio de argila de 650 g kg^{-1} . Antes da implantação do experimento a área era utilizada para cultivo de grãos com preparo convencional do solo, desde a década de 70.

Em Maracaju o experimento foi implantado na área experimental "Aeroporto" da Fundação MS. O solo classifica-se com Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa com 540 g kg^{-1} de argila. A vegetação natural classifica-se como campo cerrado e no local do experimento há relato de apenas um cultivo de arroz muitos anos antes de implantação do experimento. Em dezembro de 1992 foi realizada a aplicação de 4 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico e incorporado ao solo com aração e gradagens também foi aplicado 400 kg ha^{-1} de superfosfato simples. Após, no inverno de 1993, foi semeada aveia preta, e em outubro de 1993 foram implantadas as pastagens e cultura de soja em parcelas com área de 1.500 m^2 .

Em Campo Grande, o experimento foi implantado na área experimental da *Embrapa Gado de Corte*, em região representativa das condições de Cerrado típico. Foi estabelecido em 1993/94, sendo o solo do local classificado como Latossolo Vermelho com 360 g kg^{-1} de argila. Antes da instalação do experimento a área era utilizada com pastagem de *Brachiaria*, estabelecida em 1973/74, estando, na ocasião, em condição

de degradação. Antes do início do experimento, em 1993, foram aplicados $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico em todas as parcelas, com exceção daquelas utilizadas como condição testemunha, referente à pastagem degradada.

Dos vários sistemas de produção existentes nos experimentos foram selecionados para este trabalho apenas os semelhantes nos três locais, cuja seqüência de cultivos está no esquema da Fig. 5 e estão descritos a seguir:

- a) lavoura em Plantio Direto (Lav), com a seqüência soja/aveia preta para Maracaju, nabo/milho/aveia/soja/trigo/soja para o experimento de Dourados e milheto/soja até 2000 e após sorgo/soja em Campo Grande;
- b) rotação de lavouras com pastagem (Lav-Past) conduzida em Plantio Direto, com ciclos de dois anos para Dourados e Maracaju e de três anos com pastagem e um ano com soja para Campo Grande. A adubação foi realizada apenas nas culturas anteriores às pastagens, não se utilizando adubos ou corretivos na implantação e manutenção das mesmas; e
- c) pastagem contínua de *Brachiaria decumbens* (Past), sendo que em Dourados a implantação foi em novembro/95, sem utilização de adubação ou corretivos.

Em Dourados, as pastagens foram manejadas em pastoreio rotativo, com a lotação ajustada de forma a manter a oferta de forragem constante, em torno de 7% (7 kg de massa seca de forragem para 100 kg de peso vivo por dia). Em Campo Grande, o manejo das pastagens foi realizado de forma a manter a matéria seca total em 3 Mg ha^{-1} ao longo do ano. A implantação da pastagem (*B. brizantha*) após a soja é efetuada simultaneamente com milho. Em Maracaju houve apenas pastejos esporádicos com objetivo de rebaixar a pastagem.

Os três experimentos contam também com área próxima não perturbada, com vegetação original para ser utilizada como referência (VN).

Embrapa Agropecuária Oeste - Dourados, MS

	1995/96	1996/97	1997/98	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004
Lav	M	S n	M	a S	t S	n M	a S	t S	n M	a S	a S
Lav-Past	M	S a	S a	B. decumbens	S a	S a	S a	B. decumbens	B. decumbens	S a	a
Past	Brachiaria decumbens										

Fundação MS - Maracaju, MS

	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004
Lav	S	a S	a S	a S	a S	a S	a S	a S	a S	a S	a S	a
Lav-Past		B. decumbens	S a	S a	B. decumbens	B. decumbens	S a	S a	B. decumbens	B. decumbens	S a	a
Past	Brachiaria decumbens											

Embrapa Gado de Corte - Campo Grande, MS

	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004
Lav	S	mt S	mt S	mt S	mt S	mt S	mt S	mt S	sr S	sr S	sr S	sr
Lav-Past	S	Brachiaria brizantha	S M	Brachiaria brizantha	S M	Brachiaria brizantha	Brachiaria brizantha	S M	S M	S M	Brachiaria brizantha	
Past	Brachiaria decumbens											

Fig. 5. Esquema dos sistemas de manejo e as seqüências de cultivos avaliados nos três experimentos. S = soja, n = nabo, a = aveia, t = trigo, M = milho, sr = sorgo, mt = milheto.

2.2. Amostragens

O solo dos três experimentos foram amostrados no período entre 12 e 17 de abril de 2004, coletando-se monólitos de aproximadamente 20 x 10 cm nas camadas 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm para determinações de estabilidade de agregados. Também foram coletadas amostras indeformadas para determinação da densidade do solo na camada 0 a 2,5 cm; e nas camadas de 0 a 2,5 cm; 2,5 a 5 cm; 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm para determinação do teor de carbono orgânico.

Todas as amostragens foram efetuadas com três repetições, exceto para densidade que foram em número de seis.

A matéria orgânica foi avaliada em relação ao teor de C orgânico do solo, expresso quanto a sua concentração (g kg^{-1}) e ao estoque (Mg ha^{-1}) nas camadas do solo, calculado levando-se em consideração os valores de densidade do solo (teor de C x densidade do solo x espessura da camada). A análise de C orgânico foi realizada em Analisador Shimadzu, o qual realiza a combustão (seca) da amostra e quantifica o CO_2 liberado em sensor de infravermelho.

2.3. Fracionamento da MOS

O fracionamento físico da MOS possibilita classificá-la quanto a sua dinâmica e funcionalidade. Neste trabalho utilizou-se o método granulométrico descrito por Cambardella & Elliott (1992) que consiste na separação do solo, após dispersão, através de peneira com malha de 0,053 mm. Da fração da amostra retida na peneira foi determinado o teor de carbono (%) na fração particulada da matéria orgânica (C-MOP) e corresponde à fração lábil. O carbono da fração não retida na peneira, constituída de material de tamanho correspondente a silte e argila, foi considerada associada aos minerais do solo e, portanto, não lábil (MOM). O teor de carbono nesta fração foi obtido pela subtração do valor de C-MOP do carbono orgânico total (COT) e denominado C-MOM.

2.4. Estabilidade dos agregados do solo

Os monólitos de solo foram destorroados manualmente, observando os pontos de fraqueza; desta forma o volume total da amostra foi fracionado para transpassar a malha de 9,52 mm, sendo excluídos da amostra fragmentos de plantas, outros resíduos não componentes do solo, pedras e cascalhos retidos na peneira. Para a determinação da estabilidade dos agregados do solo utilizou-se o método descrito por Kemper & Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e em Silva & Mielniczuk (1997), consistindo na separação dos agregados em classes de tamanho pela dispersão e peneiramento em meio seco e úmido.

Para facilitar a análise dos resultados da distribuição dos agregados, utilizou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) obtido através da seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

onde, w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total; e x_i = diâmetro médio das classes expressa em mm.

Como o peneiramento do solo, para medida de sua agregação, foi realizado em água (DMP_u) e a seco (DMP_s), a relação entre os valores de diâmetro médio fornece o índice de estabilidade dos agregados ($IEA = DMP_u / DMP_s$), que indica a capacidade dos agregados resistir à energia de desagregação.

2.5. Análise estatística

Devido à particularidade dos experimentos utilizados neste estudo, como tamanho das parcelas, diferentes números de blocos e de repetições, optou-se por analisar os dados de cada experimento como

delineamento de blocos ao acaso, considerando-se cada ponto de amostragem no campo como uma repetição. As diferenças entre médias de tratamentos foram analisadas através do teste DMS, com nível de significância de 5%. Como critério adicional de análise utilizou-se o desvio padrão da média.

Para os cálculos da análise da variância e ajustes de equações foram utilizados planilhas eletrônicas do Excel for Windows.

3. Resultados e Discussão

3.1 Teor de C no perfil do solo

O teor de C orgânico no solo apresentou distribuição característica ao longo do perfil, com valores mais elevados na superfície do solo e decrescendo à medida que aumenta a profundidade (Fig. 6). De modo geral, nos três experimentos as diferenças mais expressivas foram observadas na camada superficial, onde os sistemas com pastagens apresentaram valores superiores ao sistema com lavoura, exceto para Campo Grande no qual o sistema Pastagem apresenta menor valor. Também se observou que para todos os sistemas de produção, os teores na camada mais profunda são semelhantes entre si, fruto do manejo empregado antes da implantação do experimento.

No experimento de Dourados as diferenças foram observadas até a profundidade de 10 cm, com os sistemas com pastagens (Past e Lav-Past) e a VN apresentando valores superiores ao sistema apenas com lavoura (Lav), o que certamente está associado ao maior aporte de material vegetal pelas pastagens. O sistema Lav apresenta a menor concentração de C no solo para os três experimentos, o que pode estar associado à forma de utilização anterior, com preparo convencional do solo por cerca de 20 anos. No experimento de Maracaju, o sistema VN apresentou concentração muito superior aos demais sistemas de manejo na camada mais superficial, atingindo o valor de 57 g kg⁻¹.

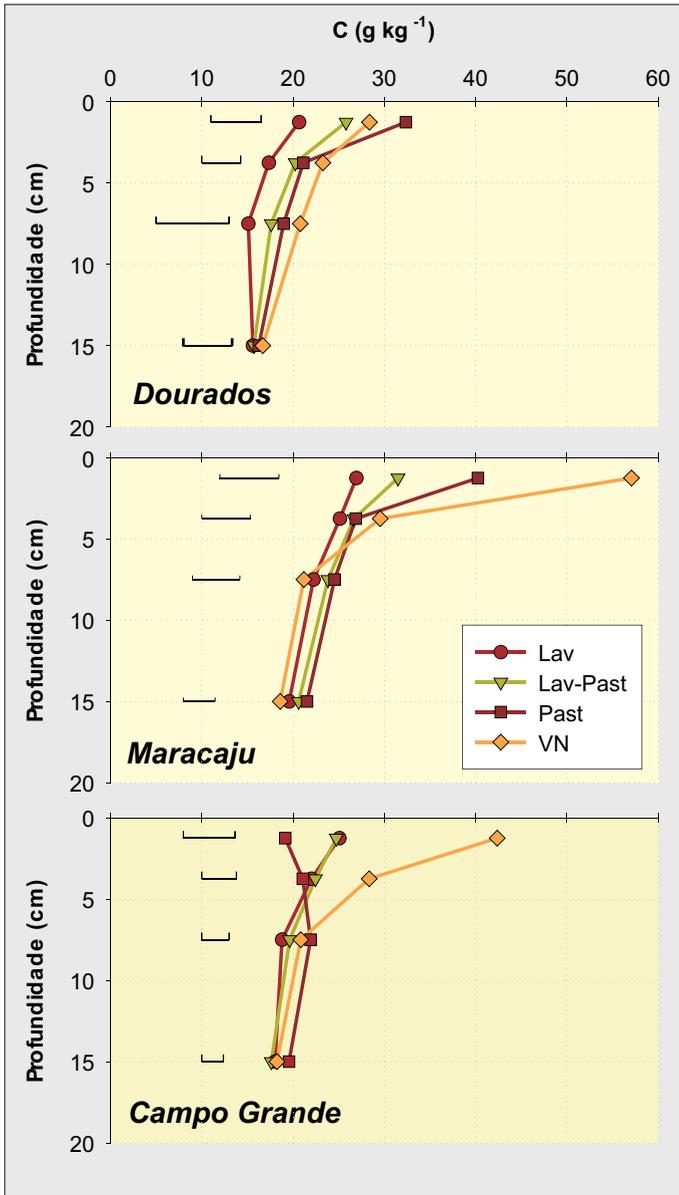


Fig. 6. Teor de carbono no perfil do solo de experimentos de longa duração submetidos a sistemas de manejo. (Lav = Lavouras em plantio direto, Lav-Past = rotação de soja e pastagem em plantio direto, Past = pastagem permanente, VN = vegetação natural). As barras horizontais indicam o valor para DMS 5%.

Nesta camada superficial (0 a 2,5 cm) foram verificadas as maiores diferenças entre os sistemas de manejo, posicionando-se com menores concentrações o sistema Lav, com valores intermediários o sistema Lav-Past e com maior concentração o sistema Past ($40,2 \text{ g kg}^{-1}$), inferior apenas ao VN. Para as camadas inferiores do perfil do solo houve tendência de semelhança entre os valores.

No experimento de Campo Grande, após 11 anos de condução, a concentração de carbono do solo apresenta variação entre os sistemas de manejo apenas nas camadas superficiais, onde a VN possui praticamente o dobro da concentração apresentada pelos demais sistemas. De um modo geral a concentração de C é maior na superfície, reduzindo-se em profundidade, ocorrendo comportamento diferenciado apenas no sistema Past, onde a maior concentração aparece na camada 5 a 10 cm. Isto pode estar associado ao manejo da pastagem utilizado, em que há reduzido aporte de material orgânico na superfície via senescência de folhas e talos, reduzindo o fluxo de C ao solo, implicando em redução da concentração de C total, uma vez que os processos de oxidação e perda de C são contínuos.

3.2. Estoque de C orgânico no solo

O estoque de C orgânico no solo (Fig. 7) apresenta variação entre os sistemas de manejo, sendo que em todos os experimentos os maiores valores para o sistema Past, intermediário para o sistema Lav-Past e inferior para o sistema apenas com lavouras (Lav). Entre os locais, a variação também foi observada, sendo o maior estoque verificado em Maracaju, com valor intermediário o experimento de Campo Grande e o menor estoque em Dourados. Esta classificação está relacionada ao uso do solo no período antecedente à instalação dos experimentos, mas de forma mais expressiva relaciona-se a variações edafoclimáticas, pois as diferenças são também semelhantes para as áreas de referência (VN), mesmo entre Maracaju e Dourados, cuja vegetação natural pode ser classificada como campo-limpo e campo-sujo, respectivamente (Ribeiro & Walter, 1998).

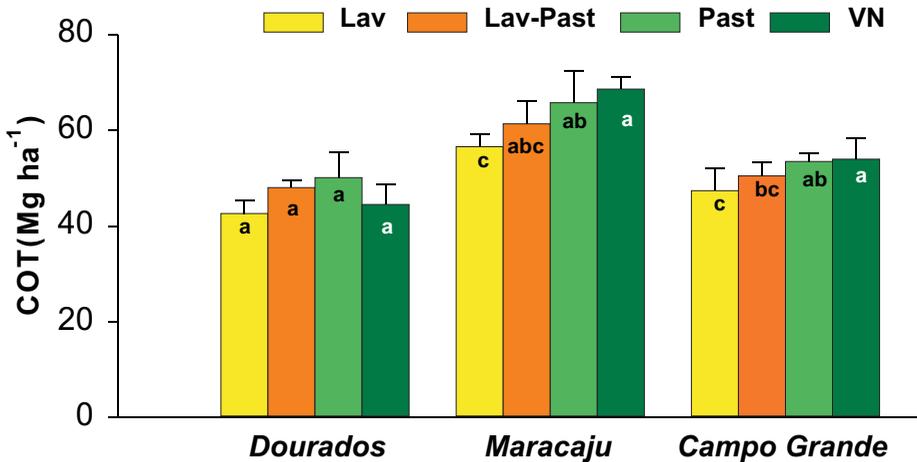


Fig. 7. Estoque de carbono orgânico (COT) na camada 0 a 20 cm do solo sob sistemas de manejo e área de referência, em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul. As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da média, letras iguais indica semelhança para DMS 5%. (Lav = Lavouras em plantio direto, Lav-Past = rotação de soja e pastagem em plantio direto, Past = pastagem permanente, VN = vegetação natural).

Em Dourados, embora os teores de C sejam diferentes significativamente nas camadas superficiais, o estoque de C na camada 0 a 20 cm não apresentou diferença significativa entre os sistemas, mas com clara tendência de valores superiores para os manejos Past e Lav-Past.

No experimento de Maracaju, os estoques de C no solo variaram em função do sistema de manejo adotado, sendo todos inferiores ao verificado para o sistema referência (VN) com 68,7 Mg C ha⁻¹, mas permite evidenciar a capacidade dos sistemas com pastagem, seja permanente ou em rotação com lavouras, de aumentar o estoque de C no solo.

Para o ambiente de Campo Grande foi verificada a mesma seqüência para o estoque de C, com o menor valor para o manejo

Lav ($47,4 \text{ Mg ha}^{-1}$), posição intermediária para o manejo Lav-Past ($50,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e maior para a pastagem permanente (Past), atingindo valor semelhante à vegetação natural (VN).

De modo geral pode-se verificar que o manejo Lav manteve o solo com estoque de C inferior ao da VN e que o uso de pastagens possibilita alcançar ou superar o estoque da condição natural do local.

3.3. Frações da MOS

Em geral, entre 77% e 93% do COT foi recuperado na fração da MOS associada aos minerais do solo (C-MOM). A fração particulada (C-MOP) variou entre 7% e 23% (Fig. 8).

Em Dourados, o sistema Past apresentou $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C-MOP, sendo significativamente superior ao sistema Lav com $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C-MOP, estando o sistema Lav-Past com $5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ em posição intermediária. Em termos proporcionais ao conteúdo total de C no solo, os sistemas de manejo apresentaram 10%, 11% e 13%, respectivamente. Isto está, aparentemente, condizente com o aporte de resíduos na superfície do solo pelas diferentes formas de uso do solo.

Em Maracaju houve uma acentuada diferença entre o valor obtido para o sistema de referência (VN) com $10,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e as formas de manejo com lavouras, que apresentaram os valores inferiores, variando de $4,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para o Lav a $5,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para o Lav-Past. A área de referência (VN) para este local apresentava vegetação de campo onde espécies gramíneas vegetavam, resultando em abundante material vegetal morto sobre a superfície. Em termos relativos, os estoques de C-MOP nos sistemas de manejo estão coerentes com o estoque total e com o aporte de resíduos vegetais, apresentando valores de 7%, 9%, 11% e 15%, respectivamente para Lav, Lav-Past, Past e VN.

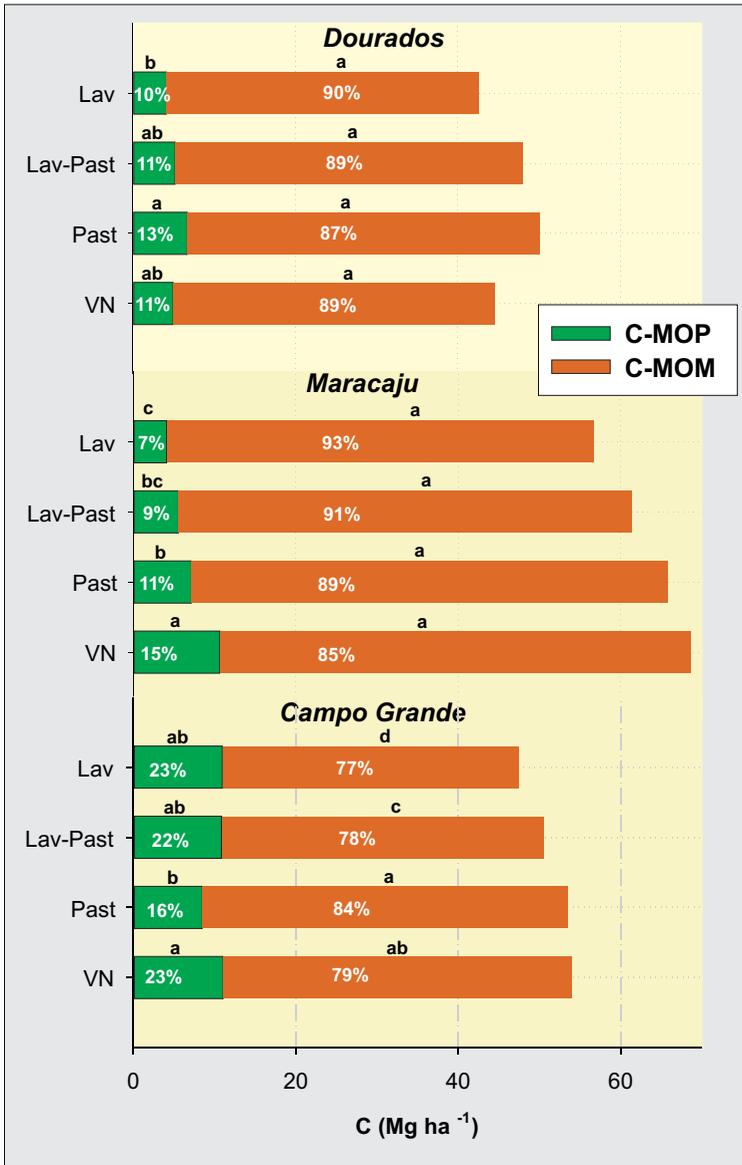


Fig. 8. Estoques de carbono, na camada 0 a 20 cm do solo, nas frações associada aos minerais do solo (C-MOM) e na matéria orgânica particulada (C-MOP) e a proporção entre as duas frações em sistemas de manejo em experimentos de longa duração. Letras iguais sobre as barras da mesma variável indicam semelhança a DMS 5%.

No caso do experimento de Campo Grande, os estoques de C-MOP na camada 0 a 20 cm variaram de 8,5 Mg ha⁻¹ a 11,1 Mg ha⁻¹ respectivamente, para os sistemas Past e VN. O menor estoque de C-MOP verificado para o sistema Past, pode indicar que o manejo adotado na pastagem está inadequado, pois o reduzido aporte de material vegetal ao solo, está relacionado ao pastejo acima da condição ideal, na qual não há sobra de material vegetal que permite a planta acumular reservas visando o rebrote e resulta na senescência de folhas e talos, fonte de material particulado. Embora o estoque total de C no sistema Past seja superior aos outros sistemas, o fracionamento da MOS nos permite prever que a manutenção de tal forma de manejo não será sustentável em médio prazo, pois não havendo suprimento de C ao solo (via MOP), haverá redução no estoque total de C do solo. A análise dos valores relativos de C-MOP demonstra claramente esta situação, pois enquanto os sistemas possuem entre 22% e 23% do total, o sistema Past apresenta apenas 16%.

O fracionamento da MOS possibilita avaliar a eficiência dos sistemas de manejo em aportar MO lábil ao solo, que posteriormente vai abastecer o compartimento estável da MOS, aquela associada aos minerais. É desejável que o solo apresente adequada quantidade de C-MOP pois desta forma estará garantindo fluxo de C para o solo e assim mantendo sua atividade biológica. Por outro lado, caso o solo não disponha de MO lábil em quantidade suficiente para suprir suas necessidades, os processos de oxidação da MO irão resultar em redução do estoque de C no solo, dando início ao processo de perda de qualidade e degradação do solo.

A sensibilidade da fração C-MOP às condições de manejo adotadas é muito evidente no caso destes experimentos, pois os maiores valores médios observados em Campo Grande são resultado da condição climática ocorrida no período anterior à coleta de amostras. A falta de chuvas durante os meses de janeiro a março de 2004 reduziu severamente a taxa de decomposição dos compostos orgânicos. Por

outro lado, a redução na oferta de material vegetal sobre o solo também foi detectada com a redução na quantidade de C-MOP, como por exemplo em situações de manejo incorreto de animais em áreas de pastagem. A Fig. 9 ilustra situações de manejo da pastagem com duas situações de pastejo, que resultam na presença de material senescente sobre o solo e na ausência deste material. No manejo das pastagens é necessário o adequado ajuste da pressão de pastejo, de forma a resultar em material senescente (resíduos vegetais) sobre o solo. Este material possibilita acúmulo de MOS e abastecimento de C aos processos bioquímicos no interior do solo.

Foto: Júlio César Salton



Fig. 9. Pastagens submetidas a diferentes manejos, com carga animal adequada resultando na presença de material senescente (A) e em situação de superpastejo, com ausência de material senescente na superfície do solo (B).

3.4. Retenção (seqüestro) de C no solo

Atualmente, além da eficiência agrônômica, os sistemas de produção devem proporcionar, entre outros aspectos, ganhos ambientais como os proporcionados pela menor emissão de gases causadores de efeito estufa e seqüestro de C atmosférico. Como resultado dos fluxos de C para o solo, podem ocorrer saldos positivos ou negativos, durante determinado período de tempo. O balanço será positivo quando as saídas de C do sistema forem menores que as entradas, desta forma há retenção de C no solo.

A Fig. 10 apresenta as taxas anuais médias observadas para os experimentos, cujos valores foram calculados em relação ao sistema com lavouras em plantio direto (Lav), que desta forma apresenta taxa igual a zero. Assim, ao considerar o impacto proporcionado pela utilização da rotação de lavoura com pastagem (Lav-Past), em substituição ao sistema com uso predominante na região (Lav), considerando-se os estoques na camada 0 a 20 cm, poderia ocorrer retenção de C ao solo a uma taxa anual de $0,60 \text{ Mg ha}^{-1}$.

No experimento de Maracaju, a taxa obtida para o sistema Lav-Past foi inferior à verificada para este manejo em Dourados, enquanto os valores para o sistema Past foram muito semelhantes. Em Campo Grande foram registradas as menores taxas, mas mantendo a mesma ordem que nos outros locais.

Em termos gerais, a situação do solo no momento anterior à implantação de determinado sistema de manejo tem influência marcante na taxa de retenção de C que tal sistema irá apresentar, como citado por Conant et al. (2001), os quais, ao analisarem 115 experimentos em diversos ambientes, apontaram taxa de $0,35 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a conversão de vegetação nativa para pastagem e de $1,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com a conversão de área cultivada para pastagem. Assim, no experimento de Dourados, no qual o estoque de C no solo encontrava-se baixo em relação ao valor original,

devido à utilização com lavouras durante cerca de 20 anos, resultou em taxas positivas para os sistemas contendo pastagens, com destaque para o sistema Lav-Past, que, pelo manejo utilizado, potencializou o aporte de material vegetal ao solo. No experimento de Maracaju, a condição anterior era estável e com baixo aporte de material vegetal, e os sistemas implantados resultaram em saldo positivo pelo maior aporte de resíduos vegetais. Entretanto, para o experimento de Campo Grande, cuja condição anterior era de pastagem, o estoque de C no solo era relativamente elevado, a introdução de sistemas de manejo com lavouras não foram capazes de suprir com resíduos vegetais da mesma forma que a pastagem existente, obtendo-se como resultado menores taxas.

Para os sistemas de manejo que incluem pastagens, as taxas observadas nos experimentos são coerentes com taxas verificadas para a região dos Cerrados por Corazza et al. (1999), os quais encontraram valor de $0,92 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para pastagem de *Brachiaria decumbens*.

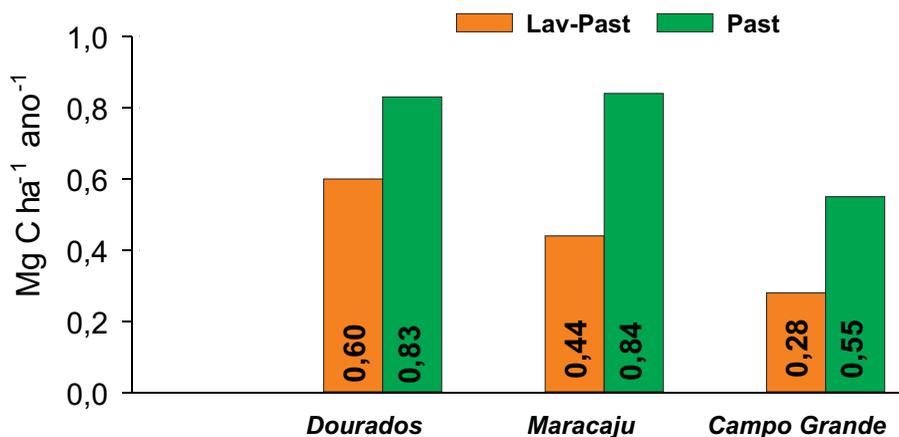


Fig. 10. Taxas anuais de retenção de C no solo, proporcionada pela utilização de sistemas de manejo, em relação a utilização de lavouras em plantio direto considerado como referência, em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul.

A conversão de sistemas de produção apenas com lavouras, para sistema com rotação de lavouras e pastagens em PD (Lav-Past), pode proporcionar significativa contribuição no seqüestro de carbono, pois além das quantidades armazenadas no solo deve-se considerar o volume não consumido de formas diretas e indiretas, provenientes do melhor uso de insumos industrializados (adubos, fungicidas, etc.) e menor consumo de combustível. Também deve ser considerada a ausência de perdas por erosão, maior produtividade dos cultivos (maior eficiência), melhor qualidade de forragem para os animais e conseqüentemente maior produtividade animal, com menor emissão de metano (Reid et al., 2004).

No Brasil, com vastas áreas com lavouras e pastagens, a simples adoção de determinadas práticas pode significar grande quantidade de carbono retirada da atmosfera. Utilizando-se os valores apresentados na Fig. 10 pode-se quantificar o potencial de retenção de C. Na hipótese de adoção do sistema de rotação soja-pastagem em apenas metade da área cultivada com soja na Região Centro-Oeste (~10 milhões de hectares), poder-se-ia atingir cifras de 2,2 Tg de C ano⁻¹ considerando apenas a camada 0 a 20 cm (5.000.000 ha x 0,44 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹).

Pode-se estimar a quantidade adicional de C incorporado ao solo através da melhoria das pastagens, que apresentam taxas de seqüestro em torno de 0,8 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ quando bem manejadas e taxa de 0,55 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ quando em degradação (Fig. 10). Se for considerada a adoção de medidas para melhoria das pastagens (ajuste de carga e adubação) em apenas 1/3 das áreas de pastagem da Região Centro-Oeste, pode-se atingir a 3,75 Tg de C ano⁻¹ (15.000.000 ha x 0,25 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹), totalizando na soma destas hipóteses viáveis quase 6 Tg de C ano⁻¹.

Práticas como o PD, rotação de culturas, uso de leguminosas, adubação e manejo de pastagens, entre outras, proporcionam efetiva contribuição para um balanço positivo de carbono. O seqüestro de

carbono pelos sistemas agrícolas deve ser considerado como um ganho adicional, decorrente da utilização adequada de tecnologias cuja principal finalidade é a de produzir de forma sustentável.

3.5. Agregação do solo

Os diferentes sistemas de manejo, ao influenciarem a intensidade dos fluxos de matéria para o sistema solo, resultam em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados, como está demonstrado na Fig. 11.

Ao considerar-se apenas o volume de solo agregado em estruturas menores que 0,25 mm, verifica-se que em termos gerais os sistemas de manejo apenas com lavouras em PD (Lav) apresentam a maior quantidade da massa do solo organizada nesta classe de micro-agregados, em relação aos outros sistemas. Por outro lado, a massa de solo organizada em macro-agregados maiores que 2 mm, nos sistemas com pastagens (Lav-Past e Past), atinge valores superiores a 60%.

No experimento de Maracaju, o solo apresentou uma organização de sua estrutura mais desenvolvida que nos demais experimentos em função do seu histórico de uso, uma vez que antes da implantação do experimento não havia uso agrícola do solo, estando ocupado pela vegetação natural. Além disso, o teor e tipo de argila presente também contribuem para uma maior estruturação do solo. Na Fig. 11 verifica-se significativa diferença para a classe de agregados maior que 4,76 mm, na camada 0 a 5 cm, onde o sistema Lav possuía apenas 15% da massa do solo nesta classe, enquanto os demais sistemas possuíam entre 41% (Lav-Past) a 55% (Past). Na camada inferior (5 a 10 cm), o sistema Lav apresentou praticamente o dobro de massa do solo na classe > 4,76 mm, contudo ocorreram as mesmas diferenças em relação aos demais sistemas. Na camada mais profunda, para a classe de agregados grandes (> 4,76 mm) foram verificadas diferenças entre os sistemas de pastagem permanente e os demais sistemas, tendo os

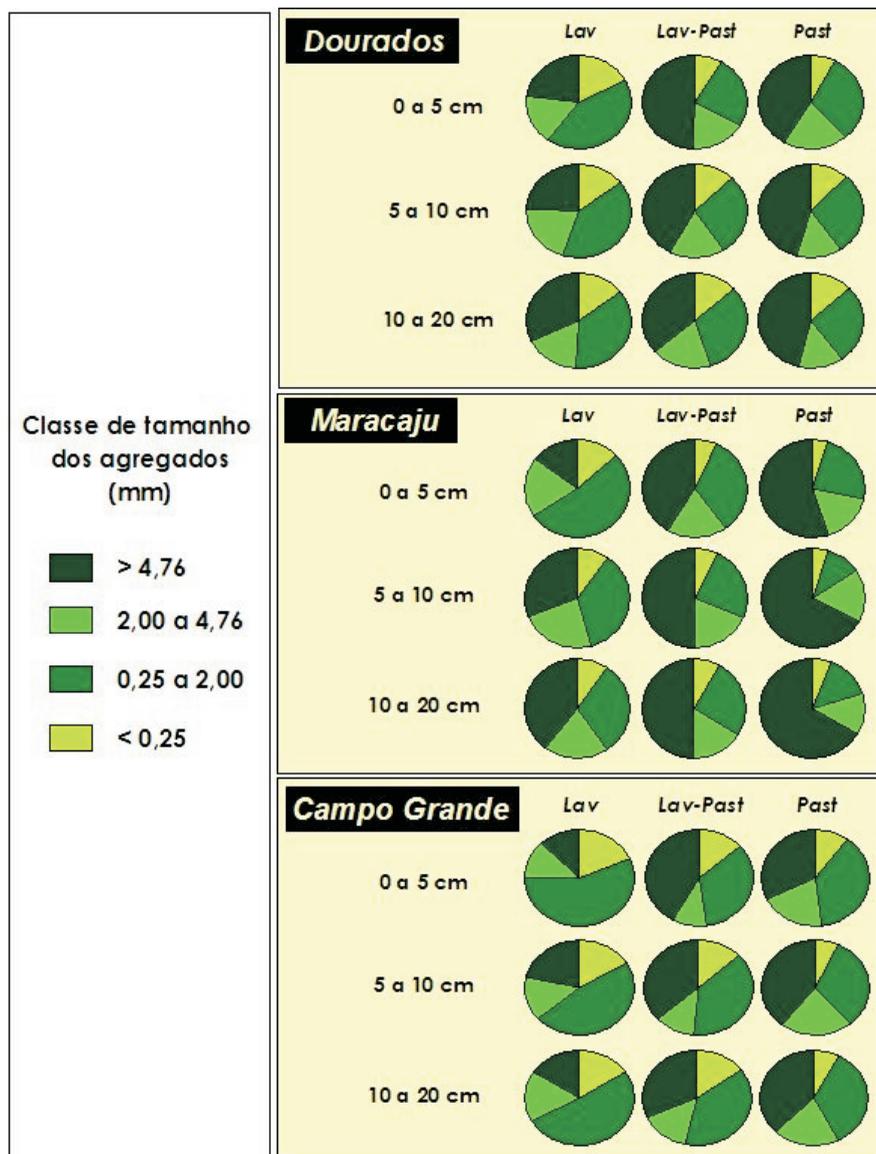


Fig. 11. Distribuição relativa da massa do solo conforme o tamanho dos agregados, para três profundidades e sistemas de manejo em experimentos de longa duração. Lav: Lavoura em plantio direto, Lav-Past: rotação de soja e pastagem em plantio direto, Past: pastagem permanente.

primeiros, valores significativamente superiores. De modo geral, independentemente da profundidade, foram observados maiores percentuais de agregados grandes, nos sistemas com pastagem permanente e menores para o sistema Lav, ficando os sistemas com a rotação lavoura-pastagem em posição intermediária.

No experimento de Campo Grande o solo apresenta textura leve, com 360 g kg^{-1} de argila, o que implica em menor nível de organização em comparação a solos mais argilosos, uma vez que as associações entre elementos minerais são menos intensas. Contudo, nesta situação os efeitos dos sistemas de manejo são mais pronunciados que nos outros experimentos (Dourados e Maracaju); neste caso a quantidade de solo constituindo agregados com tamanho superior a 4,76 mm, na camada 0 a 5 cm, variaram de 41 % para o sistema Lav-Past a apenas 13% para o sistema Lav. É muito evidente o efeito da pastagem em aumentar a quantidade de massa do solo organizada em agregados grandes, da mesma forma com os de tamanho superior a 2 mm, que corresponde a 52,2% e 52,5% respectivamente para os sistemas Lav-Past e Past, em contraste ao valor de 25% para o sistema Lav.

O solo que constitui os agregados grandes é proveniente dos microagregados, pois enquanto os sistemas apenas com lavouras apresentam 48% do solo em agregados menores que 0,5 mm, os sistemas com pastagem possuem apenas 25% (Past) e 28,6% (Lav-Past) nesta classe de tamanho.

A Fig. 12 apresenta os valores obtidos para os três experimentos, sendo que o DMP variou de 2,1 mm a 5,2 mm, respectivamente para o sistema Lav em Dourados e Past em Maracaju. Em termos gerais, o experimento de Maracaju apresentou maior DMP, possivelmente devido à condição favorável de sua textura e mineralogia (Salton, 2005), aliado à forma de utilização do solo antes de implantação do experimento em 1994, que era mantido com vegetação natural. A agregação do solo não pode ser atribuída apenas à sua textura, sendo muito importante o teor de C no solo, além de outros aspectos como manejo e clima.

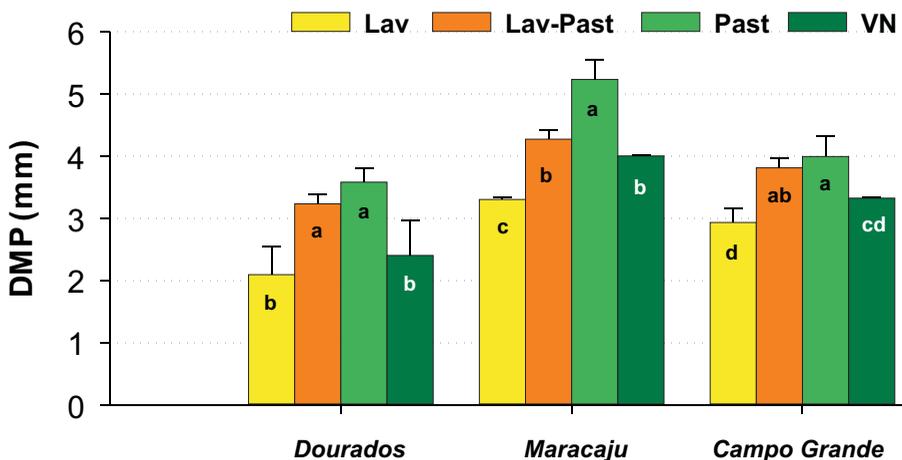


Fig. 12. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis na camada 0 a 20 cm do solo de experimentos de longa duração submetidos a sistemas de manejo. (Lav = Lavouras em plantio direto, Lav-Past = rotação de soja e pastagem em plantio direto, Past = pastagem permanente, VN = vegetação natural). As barras verticais indicam o valor do desvio padrão da média, letras iguais indicam semelhança para DMS 5%.

Em todos os experimentos foi verificada a mesma seqüência, com maior DMP para o sistema Past, com valores entre 3,6 mm e 5,2 mm. Os menores valores foram observados no Lav, com DMP variando entre 2,1 mm e 3,3 mm. O sistema Lav-Past posicionou-se de forma intermediária. O aporte de C ao solo, via raízes especialmente, é fundamental para a existência de macro-agregados, onde os sistemas com pastagem permanente apresentaram DMP significativamente maior que no sistema com pastagem em rotação com soja e este maior em relação ao sistema apenas com lavouras (Fig. 12). A ação mecânica decorrente do crescimento e funcionamento das raízes, microrganismos e da fauna do solo, que são estimuladas com a presença de pastagens, proporciona o agrupamento dos micro-agregados, resultando na formação de macro-agregados (Tisdall & Oades, 1982; Haynes & Beare, 1996). A Fig. 13 apresenta o denso sistema radicular de pastagem de braquiária e os agregados formados a partir do seu desenvolvimento no solo do experimento de Maracaju.



Fig. 13. Sistema radicular de pastagem de *B. brizantha* implantada a 11 anos no experimento de Maracaju.

O tamanho dos agregados estáveis em água, avaliados pelo DMP, para os dados dos três experimentos, apresentou boa relação com o conteúdo de C na fração associada aos minerais do solo, conforme demonstra a Fig. 14, na qual se verifica que para cada aumento de 1 mm no tamanho médio dos agregados houve um aumento médio de 3,1 a 4,4 Mg C ha⁻¹ na fração associada aos minerais, o que permite quantificar a importância da agregação na proteção da MOS. Neste caso, ao mudar o uso do solo, passando de lavouras para pastagem haveria um aumento no estoque de carbono, de 4,64, 5,27 e 5,98 Mg ha⁻¹ respectivamente para os experimentos de Campo Grande, Dourados e Maracaju. Estes valores correspondem à cerca de 2/3 dos aumentos totais de carbono no solo, cabendo ao C-MOP livre e oclusa nos agregados, a quantidade restante.

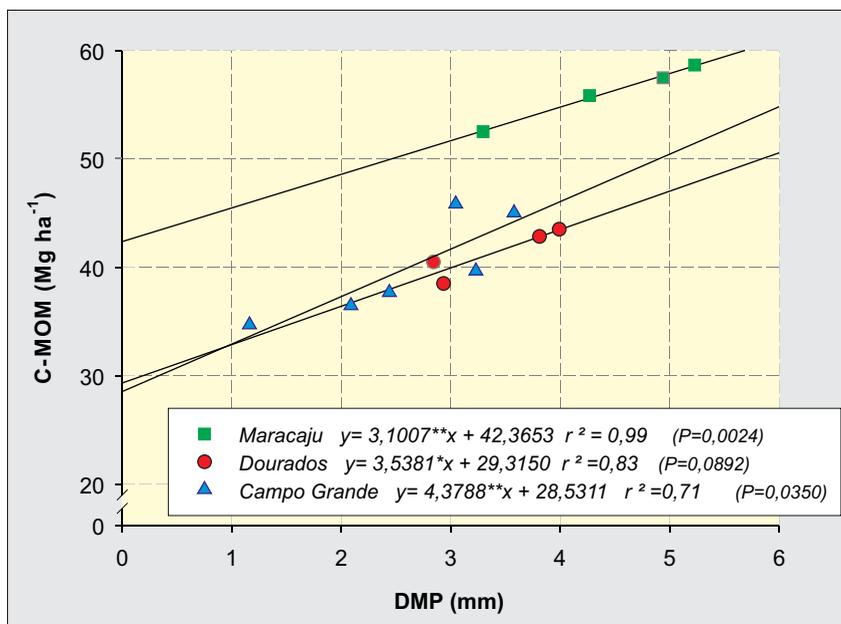


Fig. 14. Relação entre o tamanho dos agregados estáveis em água (DMP) e o estoque de carbono da matéria orgânica associada aos minerais do solo (C-MOM), na camada 0 a 20 cm de Latossolos em experimentos de sistemas de manejo em Maracaju, Dourados e Campo Grande, MS. * e ** significativos a 5% e 1%, respectivamente.

A proteção do C-MOM compoendo os agregados ocorre pelo maior grau de dificuldade à decomposição, uma vez que além da interação organo-mineral são dificultados o acesso dos microrganismos e principalmente a aeração nestes locais, em comparação aos compostos orgânicos livres (C-MOP). A presença de pastagens resulta em maior agregação do solo pelo desenvolvimento do sistema radicular, aporte de material vegetal ao solo e pela ausência de operações de preparo do solo, que promovem a perda de C do solo pela ruptura dos macro-agregados (Six et al., 2004), mantendo inalterado o interior do solo por maior período de tempo, contribuindo assim para a existência de agregados maiores.

Macroagregados formados por processos físicos, através de operações mecânicas de máquinas e equipamentos ou pelo pisoteio de animais podem não ser estáveis. O que confere maior estabilidade aos agregados são agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros.

O IEA foi calculado para os sistemas de manejo nos três experimentos, apresentado amplitude de valores entre o valor máximo (1,0) para a pastagem permanente em Maracaju e 0,65 para o sistema com lavoura (Lav) em Dourados (Fig. 15). Isto quer dizer que para o manejo Lav em Dourados apenas 65% dos agregados obtidos pelo peneiramento seco se manterão íntegros ao serem peneirados em água. Nos três experimentos, os sistemas com pastagem permanente apresentaram maior IEA, o sistema de lavouras o menor e a rotação lavoura-pastagem, valores intermediários. Apenas no experimento de Dourados o sistema de referência (VN) não foi superado pelo Past. Na análise geral se observa que o experimento de Dourados apresentou os valores inferiores, o que pode estar associado ao período anterior à instalação do experimento, no qual a área foi submetida ao preparo convencional do solo por cerca de 20 anos.

Ao relacionar o IEA com a concentração de C no solo verificou-se uma boa correlação entre estas variáveis (Fig. 16), confirmando as informações existentes quanto à estabilidade dos agregados estar associada à presença de C no solo, por ser importante constituinte dos agentes ligantes. O melhor ajuste dos dados foi do tipo curvilíneo atingindo valores de IEA próximos a 0,9 quando a concentração de COT superou a 20 g C kg^{-1} solo.

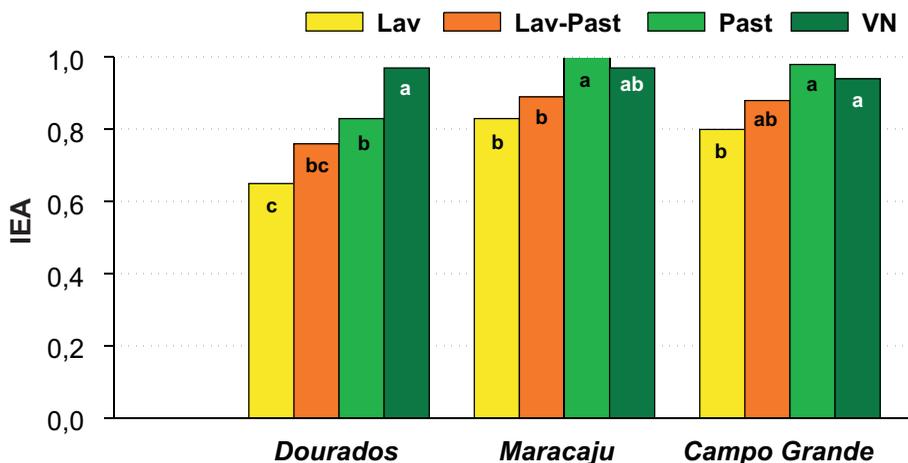


Fig. 15. Índice de estabilidade dos agregados (IEA) da camada 0 a 20 cm do solo submetido a sistemas de manejo em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul. (Lav = Lavouras em plantio direto, Lav-Past = rotação de soja e pastagem em plantio direto, Past = pastagem permanente, VN = vegetação natural). Letras iguais indica semelhança para DMS 5%.

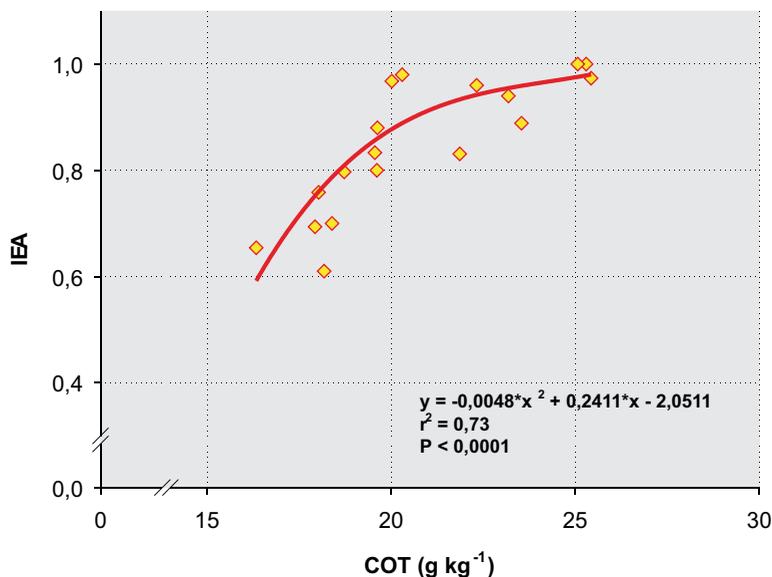


Fig. 16. Relação entre Carbono do solo e o índice de estabilidade dos agregados do solo obtidos para sistemas de manejo em experimentos de longa duração em Mato Grosso do Sul. * significativo a 5%.

Como os processos de estabilização dos microagregados são relativamente permanentes, as alterações causadas pela adição de C ao solo devem ocorrer predominantemente em macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). Dessa forma, os sistemas de manejo afetarão a estabilidade dos agregados com tamanho $> 250 \mu\text{m}$, os quais nestes experimentos constituem cerca de 80% da massa de solo. Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura do solo, provendo o interior do solo com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e circulação de ar e água.

4. Conclusões

- A utilização de diferentes sistemas de manejo promovem alterações nos estoques de carbono do solo, as quais ocorrem de forma mais intensa na camada superficial.
- as alterações no estoque de carbono do solo são influenciadas pela fração particulada da matéria orgânica do solo, cuja dinâmica é regulada principalmente pela disponibilidade de palha (resíduos vegetais) na superfície do solo;
- a formação e estabilização de macroagregados estão associadas à presença de sistema radicular abundante como o das gramíneas forrageiras;
- a existência de macroagregados estáveis possibilita a proteção e o conseqüente acúmulo de matéria orgânica do solo;
- a estabilidade dos macroagregados está relacionada ao teor de carbono orgânico no solo;

- sistemas de manejo que resultem em intensa produção e manutenção de palha sobre o solo, aliado a abundante sistema radicular, são indicados para promover qualidade do solo e maior sustentabilidade dos sistemas produtivos;
- a rotação de lavouras de grãos (soja) com pastagens, em ciclos de dois anos, ao proporcionar adequado aporte de carbono e agregação do solo, são especialmente recomendados para as condições da Região Centro-Oeste do Brasil.
- a utilização de pastagens em sistemas de produção, em relação a lavouras em plantio direto, pode contribuir na retenção de C no solo em taxas médias de $0,43 \text{ Mg C ha}^{-1}$, quando em rotação com soja e entre $0,65$ a $1,11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quando isolados.

Referências

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 53, p. 215-230, 2000.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 215-230, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. Cap. 2, p. 9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

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

CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2004/05**: quinto levantamento: junho/2005. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 14 set. 2005.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, Tempe, v. 11, p. 343-355, 2001.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação á vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 425-432, 1999.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M. C. Interaction of humic substances in soil clays. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 595-624.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science of Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special publication, 35).

FABRICIO, A. C.; SALTON, J. C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 4 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico,7).

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. MONREAL, C. M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ¹³C abundance. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 161-167, 1995.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in Meso-thermal, Humid soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 213-262.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v. 15, p. 17-29, 1945.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 4).

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. I.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 145-154, 1999.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; VILELA, L.; AYARZA, M. A.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Soil fertility under native Cerrado and pasture in the Brazilian savanna. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 67, p. 1195-1205, 2003.

MACEDO, M. C. M. A integração lavoura e pecuária como alternativa de recuperação de pastagens degradadas. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 90-104. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. Cap. 2, p. 1-9.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 209-248, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 327-336, 2004.

REID, R. S.; THORNTON, P. K.; MCCRABB, G. J.; KRUSKA, R. L.; ATIENO, F.; JONES, P. G. Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 6, p. 91-109, 2004.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-168.

SALTON, J. C. Alternativas para produzir palha no Mato Grosso do Sul. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 159-162.

SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; HERNANI, L. C. Rotação lavoura pastagem no sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 92-99, 2001.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C. Cultivos de primavera: alternativas para produção de palha no Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Pequena propriedade x desenvolvimento sustentável**: resumos. Florianópolis: SBCS, 1994. p. 248-249.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. Milheto, uma alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 45, p. 41-43, 1998.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A. (Ed.). **Myths and science of soils of the tropics**: proceedings of an international symposium. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1992. Cap. 3, p. 35-46. (SSSA. Special publication, 29).

SHUNKE, R. M. Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuaria Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p.125-140. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357363, 2004.

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

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Hagerstown, v. 33, p. 141-163, 1982.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Cláudia Assunção dos Santos Viegas
Ernesto Paterniani
Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França
Kepler Euclides Filho
Tatiana Deane de Abreu Sá
Diretores-Executivos

Embrapa Agropecuária Oeste

Mário Artemio Urchei
Chefe-Geral



Agropecuária Oeste

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BR 163, km 253,6 - Trecho Dourados-Caarapó

Caixa Postal 661 - 79804-970 Dourados, MS

Telefone (67) 3425-5122 Fax (67) 3425-0811

www.cpao.embrapa.br

Apoio:



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

