

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM
UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB
SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

CINTHIA RAQUEL MANCIN

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL
2010**

**MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM
LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA
PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

CINTHIA RAQUEL MANCIN
Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. Dr. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Dourados
Mato Grosso do Sul – Brasil
2010

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD

631.41098171 Mancin, Cinthia Raquel.
M269m

Matéria orgânica e formas de alumínio em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto consolidado. / Cinthia Raquel Mancin. – Dourados, MS : UFGD, 2010.

80 p.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Solos – Composição orgânica. 2. Latossolos – Dourados. 3. Alumínio no solo. 4. Rotação de culturas.
I. Título.

**MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM
LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA
PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

por

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA.

Aprovada em: 17/ 12/ 2010.

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
UFGD-FCA
(Orientador)

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
UFGD-FCA

Prof. Dr. Silvio Bueno Pereira
UFGD-FCA

Prof. Dr. Marcos Antonio Camacho da Silva
UEMS

Dr. Júlio Cesar Salton
EMBRAPA-CPAO

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós:
Luiz Biondo, Odila Camilo Biondo,
Benedito Mancin e Palmira Perassoli
Mancin, que com a simplicidade de seus
atos nos dão lições de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, “Ele é minha força, minha coragem” (Salmo 117, 14a) e está sempre comigo;

Ao meu esposo, pelo amor e cumplicidade;

Aos meus pais, pois tudo o que sou devo a eles;

Aos meus irmãos, pelo amor, incentivo e compreensão;

A todos os meus familiares, pelo carinho e compreensão;

Ao professor Luiz Carlos Ferreira de Souza pela amizade, paciência e indispensável orientação;

A todos os professores desta instituição, em especial aos professores Antonio Carlos, Novelino e Marlene, pelas parcerias, acolhimento e amizade desde que cheguei do Paraná para a antiga UFMS;

Aos meus verdadeiros amigos e também aos colegas que estiveram presentes no decorrer da minha pós-graduação, pelo companheirismo, apoio e compreensão em minhas ausências;

Aos funcionários da universidade que ajudaram e acompanharam o desenvolvimento da pesquisa, em especial o Niltinho, a Laura, o Éber e o João que não dispensaram esforços quando precisei, e pela amizade;

À FUNDECT e ao CNPq pelo apoio financeiro no início do doutorado;

À Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural - AGRAER, especialmente aos senhores Osmar, Roldão, Trannin, Sílvio, Márcio, Gilberto e Simão, pela amizade, incentivo e compreensão de minhas ausências que foram imprescindíveis para a conclusão desta tese;

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO I.....	vii
LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO I.....	viii
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO II.....	ix
LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO II.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	xi
CAPÍTULO I - MATÉRIA ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CON- SOLIDADO.....	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Caracterização regional.....	5
2.2 Matéria orgânica e qualidade do solo.....	7
2.3 Estoque de matéria orgânica do solo.....	10
2.4 Fracionamento da matéria orgânica do solo.....	11
2.5 Carbono do solo.....	13
2.6 Nitrogênio do solo.....	14
2.7 Relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica do solo.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Área experimental.....	17
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	17
3.3 Amostras do solo.....	19
3.4 Determinações do solo.....	19
3.4.1 Fertilidade do solo.....	19
3.4.2 Fracionamento físico da matéria orgânica	21
3.4.2.1 Carbono na fração particulada da matéria orgânica.....	21
3.4.2.2 Nitrogênio na fração particulada da matéria orgânica.....	21

3.4.2.3 Carbono e nitrogênio associados aos minerais do solo.....	22
3.4.3 Densidade do solo.....	22
3.4.4 Estoque de carbono e nitrogênio.....	23
3.5 Análise estatística.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5 CONCLUSÃO.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
7 ANEXOS.....	47
CAPÍTULO II - FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM LATOSSOLO VERME- LHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO.....	53
RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
1 INTRODUÇÃO.....	56
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	57
2.1 Caracterização regional.....	57
2.2 Alumínio do solo e o sistema plantio direto.....	59
2.3 Alumínio e matéria orgânica do solo.....	62
2.4 Fracionamento do alumínio do solo.....	63
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1 Área experimental.....	65
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	65
3.3 Amostras do solo.....	67
3.4 Determinações do solo.....	67
3.4.1 Fertilidade do solo.....	67
3.4.2 Fracionamento do alumínio do solo.....	68
3.5 Análise estatística.....	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5 CONCLUSÃO.....	75
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
7 ANEXOS.....	80

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO I

	PÁGINA
TABELA 1	Sistemas de rotação de culturas com espécies de verão e de inverno e, no período de 2006 a 2008..... 19
TABELA 2	Valores médios dos resultados das análises químicas do solo realizada por sistema de rotação de culturas, nas subcamadas da superfície, em 2009..... 20
TABELA 3	Valores médios da densidade na superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições)..... 22
TABELA 4	Valores médios da densidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições)..... 22
TABELA 5	Quadrados médios dos teores de carbono orgânico total, carbono na matéria orgânica particulada e carbono associado aos minerais do solo, e seus respectivos estoques na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades..... 24
TABELA 6	Quadrados médios dos teores de nitrogênio total, nitrogênio na matéria orgânica particulada e nitrogênio associado aos minerais do solo, e seus respectivos estoques na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades..... 24
TABELA 7	Quadrados médios da relação C/N total, relação C/N na matéria orgânica particulada e relação C/N na matéria orgânica associada aos minerais do solo na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades..... 25

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO I

	PÁGINA
FIGURA 1	Valores médios de carbono orgânico total, de carbono na matéria orgânica particulada e de carbono associado aos minerais nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5..... 25
FIGURA 2	Valores médios dos estoques de carbono orgânico total, de carbono na matéria orgânica particulada e de carbono associado aos minerais nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5..... 26
FIGURA 3	Valores médios de carbono orgânico total, de carbono na matéria orgânica particulada e de carbono associado aos minerais nas profundidades 1, 2, 3 e 4..... 27
FIGURA 4	Valores médios dos estoques de carbono orgânico total, de carbono na matéria orgânica particulada e de carbono associado aos minerais nas profundidades 1, 2, 3 e 4..... 27
FIGURA 5	Valores médios de nitrogênio total, de nitrogênio na matéria orgânica particulada e de nitrogênio associado aos minerais nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5..... 29
FIGURA 6	Valores médios dos estoques de nitrogênio total, de nitrogênio na matéria orgânica particulada e de nitrogênio associado aos minerais nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5..... 30
FIGURA 7	Valores médios de nitrogênio total, de nitrogênio na matéria orgânica particulada e de nitrogênio associado aos minerais nas profundidades 1, 2, 3 e 4..... 31
FIGURA 8	Valores médios dos estoques de nitrogênio total, de nitrogênio na matéria orgânica particulada e de nitrogênio associado aos minerais nas profundidades 1, 2, 3 e 4..... 31
FIGURA 9	Valores médios da relação C/N total, da relação C/N na matéria orgânica particulada e da relação C/N associada aos minerais nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5..... 32
FIGURA 10	Valores médios da relação C/N total, da relação C/N na matéria orgânica particulada e da relação C/N associada aos minerais nas profundidades 1, 2, 3, 4 e 5..... 33

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO II

	PÁGINA
TABELA 1 Sistemas de rotação de culturas com espécies de verão e de inverno no período de 2006 a 2008.....	67
TABELA 2 Quadrados médios para pH em CaCl ₂ , matéria orgânica, CTC e alumínio total, trocável e não trocável de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades.....	69
TABELA 3 Valores médios de pH em CaCl ₂ , matéria orgânica, CTC e alumínio total, trocável e não trocável da superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).....	70
TABELA 4 Valores médios de pH em CaCl ₂ , matéria orgânica, CTC e alumínio total, trocável e não trocável de um Latossolo Vermelho Distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).....	72

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO II

	PÁGINA
FIGURA 1 Valores médios da CTC, Al total, Al trocável e Al não trocável nos sistema de rotação de culturas 1, 2, 3, 4 e 5.....	70
FIGURA 2 Valores médios da CTC, Al total, Al trocável e Al não trocável nas profundidades 1, 2, 3 e 4.....	72

MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

INTRODUÇÃO GERAL

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do Sistema Plantio Direto (SPD) no Sul do Brasil, a partir do início da década de 70, com objetivo básico inicial de controlar a erosão hídrica, e assim, reverter o processo acelerado de redução da qualidade do solo e da água.

O plantio direto é um sistema de manejo conservacionista fundamentado na ausência de revolvimento do solo, na sua cobertura permanente e na rotação de culturas, tornando um meio sustentável, tanto ecologicamente quanto economicamente. Os diversos e importantes benefícios gerados pela adoção deste manejo são maximizados com a utilização de plantas condicionadoras de solo, que é uma técnica milenar – conhecida também como adubação verde – retomada nas últimas décadas com o SPD, onde pesquisadores e agricultores se voltaram a estas espécies, para estudar suas interessantes características em diversas condições agro-ecológicas e em sistemas de produção.

Nas áreas agrícolas do Bioma Cerrado são colocadas, no verão, as commodities agrícolas como soja e milho, tendo potencial para serem utilizadas as espécies condicionadoras de solo apenas no inverno, pois, estas apresentam menor expressão econômica na produção de grãos.

As alterações na matéria orgânica do solo (MOS), tanto em quantidade como em qualidade, tem implicações graduais nas alterações do pH, na toxidez de alumínio, na dinâmica de nitrogênio, do fósforo e de outros nutrientes. Sua elevação nas camadas superficiais do solo se deve não somente a mineralização mais lenta no SPD em relação ao plantio convencional – pelo menor contato com o solo, o que retarda a ação dos microrganismos responsáveis por este processo – mas também, pela maior

adição de fitomassa das culturas em rotação ou sucessão e pela maior preservação da estrutura do solo que confere a MOS, maior proteção ao ataque de microrganismos e de seus complexos enzimáticos.

A manutenção e o aumento da MOS, proporcionado pelo SPD consolidado, é um dos efeitos mais relevantes, pois, melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, verificado por vários produtores e pesquisadores quando comparam com o solo sob plantio convencional. Por isto, não podem ser mais consideradas as mesmas relações de avaliação para as duas formas de manejo, tendo necessidade de se ajustar, de modo particular, as medidas de avaliação de solo sob SPD consolidado, obtendo assim uma produção sustentável e com qualidade.

Vários autores afirmam que são necessários mais de 6 anos de implantação do SPD para que se observe os benefícios deixados no sistema pela ausência de preparo, pela qualidade e pela quantidade dos resíduos culturais. A área foi implantado o experimento esta sob o SPD há doze anos, onde se pode verificar ao longo dos anos melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos, ligado ao acúmulo de MOS no decorrer do tempo.

Devido à carência de pesquisa sobre o SPD consolidado em nossa região, aliado à importância de aperfeiçoar e maximizar seus benefícios desenvolveu-se este trabalho, que teve por objetivo estudar frações de matéria orgânica e formas de alumínio em um Latossolo Vermelho distroférico sob SPD consolidado, submetido a diversos esquemas de rotação de culturas.

CAPÍTULO I

MATÉRIA ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

MATÉRIA ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Orientador: Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

RESUMO

Solos cultivados do Cerrado possuem limitações químicas, físicas e biológicas, que associadas a fatores climáticos contribuem para seu empobrecimento, e assim, para a deterioração da qualidade do solo. A manutenção e acúmulo da matéria orgânica do solo tem sido considerada a melhor alternativa para que isto se reverta e resulte em produções com sustentabilidade econômica e ambiental. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes frações da matéria orgânica do solo, e o carbono e nitrogênio contido nestes compartimentos, num Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, em diferentes rotações de culturas sob plantio direto consolidado. As amostras do solo foram coletadas em 2009, na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, em Dourados, Estado de Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, e os tratamentos organizados num esquema fatorial 5x4, sendo cinco sistemas de rotação de culturas: 1- ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja, 2 – girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/ milho/ girassol/ soja, 3 – aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja, 4 - ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/ soja, 5- ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja; e quatro profundidades do solo: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. Foi utilizado o fracionamento físico granulométrico para determinação da fração particulada da matéria orgânica, e o carbono e nitrogênio nela contidos. Concluiu-se que os teores de carbono na fração particulada da matéria orgânica (C-MOP), seu estoque no solo e os teores de nitrogênio no solo não são influenciados pelos diferentes sistemas de rotação de culturas. A rotação de cultura 4 proporciona maiores teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono associado aos minerais do solo (C-MOM), e também maior relação C/N total e associada aos minerais do solo. A maior concentração de COT, C- MOP, C-MOM, nitrogênio total (NT), nitrogênio na fração particulada da matéria orgânica (N- MOP) e nitrogênio associado aos minerais do solo (N-MOM) é verificado na profundidade de 0 a 5 cm.

Palavras-chave: rotação de culturas, frações granulométricas, carbono orgânico, nitrogênio do solo.

ORGANIC MATTER IN A DISTROFERRIC RED LATOSSOL UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Adviser: Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

ABSTRACT

Savannah Cultivated soils possess chemical, physical and biological limitations, that associated to climatic factors contribute to its impoverishment, and so, for the soil quality deterioration. The maintenance and accumulation of the organic matter of the soil has been the best alternative to revert this situation, resulting in production increase with economical and environmental sustainability. The objective of this work was to evaluate different fractions of the organic matter of the soil, and carbon nitrogen content in these compartments, in clayey distroferric red Latossol, in different rotations of cultures under no-tillage system. The soil samples were collected in 2009, in Experimental Farm of Federal University of Great Dourados - UFGD, in Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil. The experimental design was in randomized blocks with three replicates, and the treatments in a factorial 5x4, with five rotation cultures: 1 – veth+oat+turnip / soy / turnip / corn / veth+oat+turnip / soy, 2 - sunflower / soy / veth+oat+turnip / corn / sunflower / soy, 3 - oat / soy / sunflower / corn / oat / soy, 4 - ervilhaca+aveia / soy / brachiaria / corn / brachiaria / soy, 5 – veth / soy / turnip / corn / turnip / soy; and four depths of the soil: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. Physical grain size fractionation was used for determination of the particulate organic matter, and carbon and nitrogen contents. The conclusion is that the carbon levels in the particulate organic matter (C-POM), its stock in the soil and the soil nitrogen levels is not influenced by the different culture rotation systems. The rotation system 4, provides higher levels and stock of total organic carbon (TOC), carbon associated to the minerals of the soil (C-MOM), and also a higher C/N relation total and associated to the minerals of the soil (MOM). The levels of TOC, C-MOM, C-POM, total nitrogen (TN), nitrogen in the particulate organic matter (N-POM) and nitrogen in the mineral organic matter (N-MOM) are higher in the 0-5 cm depth.

Key words: crop rotation, granulometric fraction, organic carbon, soil nitrogen.

1 INTRODUÇÃO

Os Latossolos são os solos predominantes no Mato Grosso do Sul, assim como no Cerrado, explorados principalmente pelo monocultivo da soja, sucessão soja/milho ou sucessão soja/aveia, e pela pecuária extensiva. Estas práticas agrícolas, aliadas à alta atividade bioclimática, e muitas vezes ao plantio convencional, têm levado a degradação acelerada da matéria orgânica do solo (MOS), e com ela seus inúmeros benefícios para o sistema solo-planta.

Nesta região, o plantio direto é a melhor alternativa para a manutenção e a recuperação da MOS, por ser um sistema de manejo conservacionista, onde são adicionados resíduos vegetais, sem incorporação ao solo. Os efeitos desta adição ainda podem ser maximizados quando colocadas espécies de plantas condicionadoras de solo em rotação, adaptadas regionalmente, considerando as condições do solo, do clima, do interesse do produtor, e que sejam ecologicamente equilibradas e economicamente viáveis.

A matéria orgânica, mesmo sendo um componente encontrado em pequena quantidade no solo, é a principal responsável pelo bom funcionamento e sustentabilidade de agroecossistemas. Devido à importância que a matéria orgânica tem para os solos, vem sendo apontada, por vários pesquisadores, como atributo-chave para expressar eficientemente a qualidade de um solo. O carbono e o nitrogênio da fração lábil da matéria orgânica, por ser a fração mais sensível às alterações no solo, serão os primeiros nutrientes do solo a indicar alterações.

É imprescindível salientar que a adoção do sistema plantio direto (SPD), por promover a manutenção e o acúmulo da MOS, é indicada como uma alternativa promissora no sequestro de carbono atmosférico, mitigando o efeito estufa, e, portanto, além de proteger o solo, promove melhorias nas condições ambientais e tem efeitos favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos comerciais.

Devido à essencialidade da presença de matéria orgânica para a viabilidade dos cultivos comerciais e para os benefícios ambientais, foi realizado este estudo com o objetivo de avaliar o carbono, nitrogênio e seus estoques nas distintas frações da matéria orgânica do solo, em diferentes esquemas de rotação de culturas e profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto consolidado, localizado em Dourados, MS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização regional

A classe dos Latossolos ocupa aproximadamente 46% da área originalmente sob cerrado (REATTO et al., 1998), sendo 95% destes, solos distróficos (SPERA et al., 2006). Estes apresentam saturação por bases (V%) menor que 50% no horizonte B, sendo normalmente de baixa fertilidade (CORREIA et al., 2002).

Esta classe de solo tem ampla aptidão agrícola, mas apresenta limitações químicas, físicas e biológicas que são agravadas por fatores climáticos, devendo ser manejados de maneira a minimizar esses efeitos. Para garantir produções com sustentabilidade econômica e cultural é recomendado que além das correções da acidez e de nutrientes, sejam preservadas e, se possível, aumentados os teores de matéria orgânica no solo (SPERA et al., 2006).

Os solos das regiões tropicais e subtropicais, geralmente, são altamente intemperizados, apresentando baixos teores de matéria orgânica, provocado pelas condições edafoclimáticas e pelas práticas inadequadas utilizadas para produção agropecuária (CANELLAS et al., 2000; SIQUEIRA NETO et al., 2009).

A Região Centro-Oeste brasileira é a segunda maior produtora de grãos do país, com 35,5% desta produção (IBGE, 2010), onde a soja está em destaque com aproximadamente 44% dos grãos produzidos no país (IBGE, 2008). Nessa Região, há uma área representativa onde é realizado o monocultivo da soja, ou a sucessão desta com milho ou aveia. Estas atividades, associadas ao clima, tem acelerado o processo de degradação da estrutura dos solos, induzindo a degradação acelerada de matéria orgânica e nutrientes (HERNANI et al., 1995).

Devido às ocorrências citadas anteriormente, Bayer et al. (2006a) apresentam preocupação com a degradação da matéria orgânica no Cerrado brasileiro, que chega a 50% do valor original em apenas 2 a 5 anos de cultivo convencional do solo, resultado de atividades bioclimáticas e à menor capacidade de aporte de resíduos vegetais ao solo durante a estação seca. A degradação da matéria orgânica nestes solos ácidos e com predominância de minerais de carga variável, como a caulinita e os oxihidróxidos de ferro e de alumínio, tem sérias implicações na diminuição da

disponibilidade de nitrogênio e na capacidade de reter cátions, no aumento da toxidez de alumínio e aumento do potencial do solo em reter fósforo em formas indisponíveis, além dos seus reflexos na física e biologia do solo.

Portanto, quando é adotado o cultivo convencional, há promoção significativa da perturbação na dinâmica e no desempenho das funções da MOS, podendo reduzir os seus teores totais ou, como nestes solos argilosos ricos em oxihidróxidos de ferro e de alumínio, reduzirem algumas de suas frações mais dinâmicas. Tal alteração pode desencadear o processo de degradação da qualidade do solo (ROSCOE et al., 2006).

O cultivo com revolvimento da camada superficial do solo provoca a fragmentação dos macroagregados em unidades menores, favorecendo a exposição da fração lábil da MOS à agentes oxidantes, causando sua mineralização. Ele também favorece o ataque de microrganismos, pela maior superfície específica exposta, resultando em maiores emissões de dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) do solo para a atmosfera (BRUCE et al., 1999; SIQUEIRA NETO et al., 2009).

A adoção do plantio direto com elevada adição de resíduos, pode promover uma recuperação dos teores de matéria orgânica do solo em um período de tempo reduzido (BAYER e MIELNICZUK, 1997; AMADO et al., 1999).

Para viabilizar o uso de plantas de cobertura em áreas de cerrado, é necessário associar atributos agronômicos destas plantas com as condições edafoclimáticas, além dos sistemas de manejo (incorporação e plantio direto) e cultivo (rotação, sucessão ou consórcio) visando melhorar o aproveitamento do potencial das espécies vegetais a serem utilizadas (CARVALHO e AMABILE, 2006).

As leguminosas de primavera/verão, utilizadas como plantas de cobertura, geralmente produzem maiores quantidades de fitomassa e, conseqüentemente, acumulam maiores quantidades de nitrogênio quando comparadas com leguminosas de outono/inverno, entretanto, seu uso é limitado por competir por área com as culturas comerciais (LOPES et al., 2004).

2.2 Matéria orgânica e qualidade do solo

A fase sólida do solo é constituída de fração mineral e orgânica, e esta corresponde a MOS, constituída basicamente de carbono (58%), oxigênio (33%), hidrogênio (6%), nitrogênio (3%), enxofre (3%), fósforo (3%). Salientando que tanto o carbono (C) quanto o nitrogênio (N) são importantes elementos do solo, mas seu material de origem não são importantes fornecedores. Grande parte do C em formas orgânicas que entra no solo é por meio dos produtos fotossintéticos e dos organismos autotróficos, enquanto o N entra decorrente da fixação biológica do N₂ pelos microrganismos, simbióticos ou não, que compõem a microbiota do solo (SILVA e MENDONÇA, 2007). Portanto, devido à atividade biológica, o solo passa a conter C e N, por meio da matéria orgânica (RAIJ, 1991).

A MOS é composta por todo o carbono orgânico presente no solo, sendo considerados três importantes reservatórios: a MOS transitória, composta, sobretudo, por resíduos de plantas e organismos do solo de fácil decomposição e materiais orgânicos produzidos pela microbiota e raízes; a MOS humificada, composta por materiais recalcitrantes, os quais passaram por processo intenso de transformação, como ácido húmicos e fúlvicos, além de materiais carbonizados; e a biomassa, formada pela meso e macrofauna, além da microbiota do solo (ROSCOE et al., 2006).

Simplificando pelo ponto de vista de estabilidade do solo, a matéria orgânica pode ser dividida em uma fração lábil (biodegradável, leve) e uma fração humificada (estável, pesada). A fração lábil representa aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo e apresenta uma alta taxa de decomposição, logo, um curto período de permanência no solo (THENG et al., 1989; ANDRUILO et al., 1990). A principal função desta fração é o fornecimento de nutrientes às plantas por meio de sua mineralização e de energia e carbono aos microrganismos do solo (OADES et al., 1989). A fração humificada que representa cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo e tem maior permanência no solo (THENG et al., 1989; ANDRIULO et al., 1990), sendo sua principal função atuar sobre as condições físicas e químicas do solo (MARTIN NETO et al., 1996).

Em relação à fração lábil da matéria orgânica podemos afirmar também que, normalmente, têm influência maior sobre a agregação do solo, devido tratar-se de uma fonte mais facilmente assimilável de carbono e de energia pelos microrganismos

heterotróficos (CHAN, 1997), pois estes compostos do metabolismo microbiano atuam na estabilização de macroagregados de solo (ROSCOE et al., 2006).

A MOS, embora seja um componente em menor quantidade na maioria dos solos, é a principal responsável pelo bom funcionamento e sustentabilidade do ecossistema (MARTIN NETO et al., 1996; PEREIRA, et al., 1992), portanto, o seu conteúdo é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas (SÁ et al., 2001).

A matéria orgânica é o componente do solo que está mais diretamente relacionada com a qualidade do solo (MIELNICZUK, 1999), sua dinâmica influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos (COLEMAN et al., 1989).

É a matéria orgânica que determina o comportamento químico e a fertilidade de um solo (COLEMAN et al., 1989), pois, com o seu acúmulo há incremento na formação de ácidos orgânicos, maior disponibilidade de macro e micronutrientes na superfície do solo, aumento da CTC, diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio e manganês, elevação da capacidade de reciclagem de nutrientes (CALEGARI, 2006; BAYER et al., 2006a) e diminuição do potencial do solo de reter fósforo em formas indisponíveis (BAYER et al., 2006a).

A maioria dos solos de regiões tropicais e sub-tropicais são ácidos, pobres em bases trocáveis e ricos em minerais de carga variável como a caulinita, que tem baixa CTC, portanto, a MOS com alta CTC, mesmo em teores bem baixos da fração argila é a principal responsável pela CTC-dependente de pH nos solos brasileiros (MUZILLI, 2006).

Em relação aos processos físicos, a MOS contribui para a melhoria da estabilidade de agregados, diminuição da densidade do solo, redução das temperaturas máximas, menores perdas de água por evaporação e aumento da porosidade do solo, resultando num meio adequado para infiltrar e reter água, e para difusão de oxigênio às raízes das culturas. (BAYER et al., 2006b; CALEGARI, 2006).

Em solos argilosos, estes processos se tornam mais importantes, pois, devido à matéria orgânica ter densidade específica menor do que um e por favorecer a granulação, conseqüentemente, diminui a densidade do solo, formam agregados estáveis e proporcionando, nestes solos, a melhoria da estrutura e aeração, que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular (HERNANI et al., 1995).

Convém ressaltar que, possivelmente, a maior resistência do solo à compactação resultante do aumento da estabilidade de agregados e o papel da palha

dissipando a energia de compressão resultante do tráfego de máquinas sobre o solo são, ao menos em parte, responsáveis pela manutenção da condição física favorável em solos em plantio direto. Outra característica deste manejo é proporcionar ao solo um meio heterogêneo quanto à resistência ao crescimento radicular, pois, mesmo apresentando zonas de maior resistência, as raízes irão se desenvolver nos espaços porosos com menor resistência, caracterizados por planos de fraqueza que se formam ou inclusive pelos canais de raízes que acumulam no solo ao longo das safras (BAYER et al., 2006b).

Nos processos biológicos, a matéria orgânica atua como fonte de energia aos microrganismos, incrementando a vida biológica do solo tanto em quantidade quanto em profundidade (VOSS e SIDIRAS, 1985; COLOZZI FILHO e ANDRADE, 2006). Portanto, a manutenção de altos teores de matéria orgânica nos solos é muito importante porque garante a atividade dos microrganismos no solo, que é fundamental à ciclagem dos nutrientes. Todos os nutrientes presentes nos tecidos vegetais são posteriormente mineralizados no solo pelos microrganismos, sendo lentamente decomposto os resíduos vegetais, numa cinética muito favorável à nutrição de plantas e ciclagem, porque desta maneira permite que as plantas, com seu crescimento lento, aproveitam gradativamente os nutrientes liberados (CERETTA, 2006).

Os agregados do solo são compostos de partículas primárias (argila, silte e areia) e orgânicas que se aderem umas às outras (KEMPER e ROSENEAU, 1986). A MOS dá estabilidade aos agregados, e estes por sua vez, potencializam os efeitos químicos, físicos e os biológicos citados anteriormente (MILLER e JASTROW, 1992; FOSTER, 1994), e ainda, podemos adicionar neste último efeito, o benefício desses agregados em funcionar como micro-habitats para os microrganismos do solo, onde encontram os nutrientes e ficam protegidos contra a predação e dessecação (MENDES et al., 2003).

Um fato preocupante é que o acúmulo de MOS é facilmente alterado pelo sistema de manejo adotado (MIELNICZUK et al., 2003). Conceição et al. (2005) avaliaram dois experimentos de longa duração, onde investigaram o potencial da matéria orgânica como indicadora-chave na avaliação de sistemas de manejo, utilizando entre outras metodologias o fracionamento granulométrico da MOS. E, nestes trabalhos puderam ter a confirmação de que a MOS e seus atributos avaliados foram eficientes indicadores para discriminar a qualidade do solo induzida por sistemas de manejo.

2.3 Estoque de matéria orgânica do solo

O aumento nos estoques de matéria orgânica no solo e conseqüentemente de carbono e nitrogênio são dependentes de vários fatores como: quantidade de palha, tipo de rotação de culturas adotada, grau de revolvimento do solo, clima da região e doses de fertilizantes aplicadas na lavoura (SILVA e MACHADO, 2000).

Em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas são mais favoráveis à decomposição microbiana, a quantidade de resíduos vegetais necessária para manutenção dos estoques de MOS é muito superior àquela exigida em regiões temperadas (SILVA e MACHADO, 2000; MIELNICZUK et al., 2003).

No SPD, o acúmulo de matéria orgânica no solo deve-se à ação benéfica e simultânea entre as maiores taxas de adição pela maior produção de biomassa vegetal, considerando o uso de plantas de cobertura e a rotação de culturas, e as menores taxas de perdas pela erosão e menor decomposição da matéria orgânica e de resíduos, pelo não revolvimento do solo (ANGHINONI, 2007), ou seja, seu estoque no tempo é o resultado do balanço entre as adições e as perdas no solo (GREENLAND e NYE, 1959; BAYER et al., 2006a).

As principais alterações na química de solos em plantio direto são decorrentes do acúmulo de matéria orgânica no solo. A matéria orgânica tem maior reatividade que os minerais do solo pelo grande número de grupos funcionais de superfície, principalmente o carboxílico ($-\text{COOH}$), e à alta superfície externa por unidade de massa de partículas (ASE) (BAYER et al., 2006a).

Os estoques de nitrogênio do solo são controlados especialmente pelas condições climáticas e pela vegetação (STEVENSON, 1994). Devendo-se assim, incluir leguminosas na rotação de culturas e implantar espécies com maior produção de fitomassa para manter esse estoque positivo (MIELNICZUK et al., 2003).

Bayer et al. (2003) numa área experimental onde utilizavam o plantio convencional por 23 anos, observaram, neste período, uma redução de 50-60% nos estoques originais de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, onde em seu estudo incluiu leguminosas intercalares ao milho sob preparo reduzido observaram uma recuperação parcial do estoque de matéria orgânica do solo, destacando entre as leguminosas a mucuna-cinza e o feijão-de-porco. Com a recuperação dos estoques de matéria orgânica do solo houve reflexo positivo na CTC, além dos efeitos benéficos ao ambiente pelo sequestro de carbono no solo.

Mielniczuk et al. (2003) citam dois trabalhos de longa duração, um deles realizado por Paustian et al. (1992) na Suécia, em clima temperado, onde foi necessário adicionar, em sistema de revolvimento manual, apenas $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono fotossintetizado para manter os estoques de carbono orgânico que o solo apresentava no início do experimento ($32,28 \text{ t ha}^{-1}$). O outro experimento, realizado por Lovato (2001), no sul do Brasil, foi necessário adicionar $8,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono para a manutenção do estoque inicial de carbono orgânico do solo ($32,55 \text{ t ha}^{-1}$).

2.4 Fracionamento da matéria orgânica do solo

Dada à importância da matéria orgânica do solo, é fundamental a quantificação das frações que as compõem para a compreensão dos processos pedogenéticos que refletem ou induzem as propriedades dos solos (PEIXOTO, 1997).

A matéria orgânica do solo é todo o carbono orgânico presente no solo (ROSCOE e MACHADO, 2002; ROSCOE et al., 2006) em um heterogêneo conjunto de materiais orgânicos diferindo em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente (CARTER, 2001). Os diversos tipos de fracionamento de solo utilizados em estudos de MOS procuram separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000).

Os métodos de fracionamento químico são bem conhecidos, porém, mais destrutivos do que os métodos físicos (CHRISTENSEN, 2000), e tem pouco contribuído para a identificação de alterações das frações da MOS decorrentes da adoção de diferentes sistemas de manejo do solo e, de modo distinto, ao longo do tempo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; ROSCOE e BUURMAN, 2003)

Existe uma forte tendência em adotar métodos físicos para o fracionamento de solo, em estudos da matéria orgânica, diante das crescentes evidências de que eles possibilitam a separação de reservatórios na MOS mais relacionadas com suas funções e estrutura da matéria orgânica *in situ* (CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE e MACHADO, 2002), possibilitando classificá-la quanto a sua dinâmica e funcionalidade (SALTON et al., 2005).

A escolha do método de fracionamento do solo, em estudo da matéria orgânica, depende do objetivo da pesquisa. Se for verificar a degradação do solo, onde

busca confirmar se determinado uso do solo está conduzindo a uma maior ou menor qualidade ambiental, tanto o fracionamento físico densimétrico quanto o fracionamento físico granulométrico podem atender as questões do estudo (ROSCOE e MACHADO, 2002).

O método granulométrico é empregado de duas formas: uma para a separação de complexos organo-minerais (COM) secundários (agregados de diferentes classes de tamanho), relacionando a MOS com a agregação e estabilidade de agregados, e a outra, para a separação de COM-primários, quantificando os compartimentos da MOS (CHRISTENSEN, 1992; 2000).

O fracionamento do solo em COM-primários baseia-se na hipótese de que, devido à diferença na composição mineralógica, as partículas em cada classe textural do solo associam-se de forma distinta com a MOS, concluindo que os minerais orgânicos em cada uma dessas classes diferem em composição, função e dinâmica (CHRISTENSEN, 1992). Portanto, neste fracionamento, a MOS é subdividida em: matéria orgânica particulada (MOP), correspondente a fração do tamanho da partícula de areia ($>53 \mu\text{m}$), e a matéria orgânica associada aos minerais (MOM), correspondente a fração do tamanho das partículas de silte e argila ($<53 \mu\text{m}$) (SALTON et al., 2005).

A MOP é constituída basicamente de matéria orgânica não-complexada (MONC) (ROSCOE e MACHADO, 2002). Predominam nesta fração, resíduos orgânicos em estágios iniciais de decomposição, sendo possível, a identificação de fragmentos de material vegetal, hifas fúngicas e exoesqueletos da fauna (CHRISTENSEN, 2000). No fracionamento físico granulométrico, quantifica o carbono orgânico total associado à esta fração areia (ROSCOE e MACHADO, 2002).

Esta fração particulada é a parte lábil da MOS, aquela que corresponde 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 (SALTON et al., 2005).

A MOM é praticamente constituída de COM (CHRISTENSEN, 1992), podendo ser encontrada MONC nestas frações, porém com diferenças na composição e disponibilidade nas diferentes classes textuais (BALDOCK et al., 1992). Esta fração associada aos minerais do solo é aquela mais estável, não apresentando sensibilidade imediata às alterações em práticas de manejo do solo, constituindo num estoque de carbono a médio e longo prazo (SALTON et al., 2005).

2.5 Carbono do solo

O carbono orgânico é o principal componente da matéria orgânica (BAYER e MIELNICZUK, 1997; SILVA e MENDONÇA, 2007), logo, seu teor total no solo (COT) é considerado um dos mais importantes indicadores da qualidade do solo, por alterar a dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e biológicas e as características produtivas do solo (GRAPEGGIA JÚNIOR et al., 2002).

O não revolvimento do solo e a adição dos resíduos das culturas na superfície do solo, no sistema plantio direto, desencadeiam inúmeros processos físicos, químicos e biológicos fortemente inter-relacionados, geralmente sinérgicos entre si, como é o caso dos processos que levam ao aumento da estabilidade dos agregados e dos estoques de matéria orgânica no solo. O carbono orgânico é que determina maior estabilidade de agregados, e esta, por sua vez, maior proteção física da matéria orgânica. Estabelece-se, assim, uma relação causa-efeito entre agregação e a matéria orgânica (SIX et al., 1999; BALESIDENT et al., 2000).

A dinâmica do carbono no solo se inicia na adição de carbono ao solo pelas culturas, sendo que uma parte é prontamente decomposta e perdida para a atmosfera como gás carbônico, e a outra passa a constituir a MOS, onde a quantidade desta é influenciada por fatores climáticos, espécie da planta e sistema de manejo do solo, entre outros. A MOS pode permanecer no solo e realizar suas várias e importantes funções, ou ter dois destinos que também dependerá do ambiente e da forma de manejo: um é a saída por erosão e/ou lixiviação, e o outro, considerado principal, o carbono tem como destino a atmosfera, decorrente da atividade dos microrganismos do solo. A intensidade da decomposição da MOS está relacionada com vários fatores como: tipo do solo (textura e mineralogia), ocorrência e magnitude dos mecanismos de proteção presentes (agregação e interação com minerais) (SALTON et al., 2005).

As raízes são órgãos heterotróficos das plantas (com poucas exceções), por isto os gastos com C no sistema radicular é uma limitação primária para o crescimento de plantas cultivadas, comuns em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (NIELSEN et al., 1999). Até 60% do carbono fotoassimilado pode ser consumido pelo sistema radicular, sendo metade deste utilizado na respiração, e o restante, para a formação de tecidos e do mucigel, e exsudação radicular (MOREIRA E SIQUEIRA, 2002).

2.6 Nitrogênio do solo

O nitrogênio (N) está entre os nutrientes que mais limitam a agricultura no Cerrado (VARGAS et al., 2002), pois, é o macro nutriente absorvido em maior quantidade pelas culturas (com exceção das Fabáceas que o obtém por associação simbiótica) (RAIJ, 1991; BAYER e FONTOURA, 2006), é um dos que determinam o crescimento das plantas (PERIN et al., 2004), e tem considerável valor econômico (RAIJ, 1991).

A matéria orgânica do solo é um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de nitrogênio para os vegetais (mais de 95%), sendo que, sua mineralização é responsável pela conversão de 2 a 5% do N orgânico em N mineral, e regulada pelo uso e manejo do solo (D'ANDRÉA et al., 2004).

Portanto, o nitrogênio está presente no solo na forma de matéria orgânica ou mineralizado, e no Bioma Cerrado, pode ser esgotado pela combinação da forma de cultivo com a atividade bioclimática, que aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica (VARGAS et al., 2002).

É denominada de mineralização a transformação de N orgânico (resíduos vegetais e MOS) em mineral, e de imobilização, a incorporação de formas de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) na biomassa microbiana. Ambos os processos ocorrem concomitantemente no solo, embora a intensidade de cada um dependa do tipo de resíduo vegetal em decomposição (AITA, 2003).

A dinâmica do nitrogênio no solo é bastante complexa, pois, este nutriente apresenta alta mobilidade no solo e também tem sua disponibilidade afetada fortemente pelo tipo de resíduo vegetal em decomposição (AITA, 2003). A ciclagem do nitrogênio é muito favorecida pelos altos teores de matéria orgânica nos solos, havendo a possibilidade de economia de fertilizantes nitrogenados, quando os manejos dos resíduos vegetais e da MOS forem feitos pensando no aporte de nitrogênio às culturas (CERETTA, 2006).

O plantio direto, quando comparado com o convencional, favorece diversos organismos benéficos à agricultura, incluindo as bactérias fixadoras de N_2 (HUNGRIA et al., 1997). A maior estabilidade na fixação do nitrogênio neste manejo está relacionada com o fato de a planta e o simbiote estarem menos sujeitos a perda de água e oscilações térmicas (VARGAS et al., 2002; CALEGARI, 2006).

Entre as espécies utilizadas para o sistema de cultivo, as Fabáceas se destacam por formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N_2 , resultando num aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (PERIN et al., 2003).

No Cerrado, a rotação de fabáceas com gramíneas tem demonstrado maior eficiência conservacionista e econômica, e ainda apresenta a vantagem de reduzir ou evitar a imobilização de N (VARGAS et al., 2002). Roscoe et al. (2006) sugere que seja colocada mais de uma cultura fixadora de nitrogênio no esquema de rotação, pois o balanço positivo de nitrogênio no sistema irá favorecer o acúmulo de MOS pela maior produtividade das gramíneas na rotação, visto que essas são extremamente responsivas ao nitrogênio.

Lopes et al. (2004) observaram um aumento de 0,5 a 1,5% de nitrogênio na camada de 0 a 10 cm, em cerca de 10 anos no Sul do Brasil, o que resulta num armazenamento de nitrogênio no solo, pois a MOS tem em torno de 5% de nitrogênio em sua composição, tendo uma relação direta com as entradas e saídas de nitrogênio do sistema.

2.7 Relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica do solo

O entendimento do ciclo da matéria orgânica, no sistema solo-planta, ajuda a compreender o processo de equilíbrio da relação C/N e a importância do seu papel na manutenção da qualidade do solo, da água e do ar. Pois, o acúmulo e a persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo dependerão da quantidade de biomassa produzida e de sua velocidade de decomposição, que tem função direta com a sua relação C/N, a presença de umidade, as variações de temperatura e a própria atividade biológica do solo (MUZILLI, 2006).

No SPD, a relação C/N assume uma importância ainda maior devido ao fato de que a decomposição da palha pode ocorrer durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura e, portanto, em algum momento poderá ocorrer deficiência de nitrogênio para as culturas, ocasionada por uma imobilização temporária na biomassa microbiana. Isto ocorre porque o plantio direto estimula essa biomassa microbiana, aumentando a respiração (taxa de liberação de CO_2) e a demanda por elementos minerais (especialmente o NO_3) e, por consequência, favorecem toda a rede de processos

biológicos no solo relacionados à mineralização e a reciclagem de nutrientes (COLOZZI FILHO e ANDRADE, 2006).

Para contornar esta deficiência de N, Muzilli (2006) recomenda que equilibre a relação C/N no solo. Para isto, é necessário que nos primeiros 2 a 3 anos de implantação do SPD seja priorizada o cultivo de gramíneas, que promoverá uma cobertura mais duradoura e estável, a “construção” do teor de C-orgânico no solo e controle de plantas invasoras, mas, haverá maior necessidade de adubação nitrogenada, pela maior atividade microbiana. E após 4 a 5 anos de implantação do sistema, deve ser priorizada a alternância das gramíneas com espécies leguminosas, onde restabelecerá um equilíbrio na relação C/N e uma maior liberação de N ao sistema solo-planta, resultando numa demanda menor de adubação nitrogenada.

Jantalia et al. (2006) citam vários exemplos de estudos que encontram maiores acúmulos de C no solo em rotações de cultura, sob plantio direto, utilizando leguminosas ao longo dos anos, chegando ao consenso de que a maior produção das culturas em rotação se dá pela maior disponibilidade de N no solo, resultante da decomposição de seus resíduos, derivados da fixação biológica do N₂ atmosférico. Ainda afirmam que, o principal efeito sobre a acumulação de C no solo pode não ser totalmente devido ao aporte de resíduos produzidos nestes sistemas, mas também, que existia N disponível para atender a demanda das culturas, e um excedente para compor a matéria orgânica do solo.

Avaliando o efeito das palhas de milho e lab-lab, dois tipos de manejos do solo e da presença de uma fonte externa de N, Marques et al. (2000) concluíram que a disponibilidade do N e o tempo de imobilização após adição de resíduo cultural, são alterados por causa da relação C/N destes resíduos e do manejo de solo.

A proporção de N acumulado na cultura da soja manejada sob SPD é muito semelhante a da exportada pela cultura, deixando assim, no solo, baixas quantidades de N para as culturas subsequentes, e para acumular 1 mg ha⁻¹ de C no solo na forma de MOS é necessário pelo menos 80 Kg N⁻¹ (ALVES et al., 2003).

Como visto, sistemas de manejo conservacionistas aumentam o conteúdo de carbono (C) e nitrogênio (N) orgânico do solo. Todavia, os efeitos sobre a fração lábil da matéria orgânica do solo (MOP) ainda são pouco conhecidos, especialmente em ambiente tropical (PINHEIRO et al., 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

Esta pesquisa faz parte de um experimento de longa duração que teve início em 1997, envolvendo produção de grãos baseada em sistemas de rotação e sucessão de culturas, no SPD, implantado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizada no município de Dourados - MS (Latitude 22°14'S e Longitude 54°49'W e 452 m de altitude). Deve-se salientar que a última calagem realizada na área experimental foi no ano de 1999, utilizando-se uma tonelada por hectare de calcário filler (PRNT= 86%), aplicado a lanço na superfície do solo.

O solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura muito argilosa (80% de argila, 14% de silte e 6% de areia), originalmente sob vegetação de cerrado.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é mesotérmico úmido do tipo Cwa, com temperaturas e precipitações médias anuais variando de 20 a 24°C e 1250 a 1500 mm, respectivamente (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, e os tratamentos organizados num esquema fatorial 5x4, sendo cinco sistemas de rotação de culturas (Tabela 1) e quatro profundidades do solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm), totalizando 20 tratamentos e 60 parcelas.

Em cada parcela, com 36 m de comprimento por 11 m de largura (396 m²), foram semeadas as culturas de outono-inverno e de verão. O sistema de rotação considerado teve início com as culturas de outono-inverno, foram semeadas no ano de 2006 no dia 26 de abril, no ano de 2007, no dia 02 de maio e no ano de 2008, no dia 06 de maio. Todas as espécies foram semeadas mecanicamente, sendo utilizada para

semeadura do girassol (*Helianthus annuus*), uma semeadora equipada com três linhas, espaçadas entre si de 0,9 m, regulada para distribuir sete sementes por metro linear.

Para semeadura da braquiária (*Brachiaria ruzizienses*), aveia preta (*Avena stringosa*), do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L), da ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e das misturas de sementes, foi utilizada uma semeadora modelo TD 300, equipada com 17 linhas, espaçadas entre si de 0,17 m. Para a aveia preta, o espaçamento entre linhas foi de 0,17 m, com densidade de 50 sementes por metro linear. Tanto para a ervilhaca peluda como para o nabo forrageiro, foi utilizado espaçamento de 0,34 m entre linhas, com 20 sementes por metro linear. Para a semeadura da aveia preta + ervilhaca peluda, foi utilizada uma proporção de 80 kg de sementes de aveia preta e 20 kg de sementes de ervilhaca peluda. Para a mistura de aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro foi feito pela mistura física das sementes na proporção de 70%, 20% e 10% respectivamente. A mistura foi semeada em espaçamento de 0,17 m, com uma densidade de 40 sementes por metro linear. No mês de agosto foi feito o manejo mecânico das culturas com rolo-faca. A aveia preta e o nabo forrageiro estavam na fase de grão pastoso e a ervilhaca peluda estava em pleno florescimento.

A soja foi semeada no início de novembro, sendo utilizada a variedade CD 202 no ano de 2006 e a variedade CD 219 RR no ano de 2008. Para ambas as variedades, foi utilizado um espaçamento de 0,45 m, com 14 sementes por metro linear e uma adubação 300 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-20.

Para a semeadura do milho, foi utilizado o híbrido DKB 390 semeado mecanicamente no dia 27 de outubro de 2007, com espaçamento de 0,9 m e uma população de 55.000 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi feita no sulco na dose de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-20-20 e na fase de seis folhas completamente desenvolvidas foi feita adubação de cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte a uréia.

Tabela 1: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2006 a 2008.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2006.....		.....2007.....		.....2008.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja
2	girassol	soja	ep+av+nb	milho	girassol	soja
3	aveia preta	soja	girassol	milho	aveia preta	soja
4	av+ep	soja	braquiária	milho	braquiária	soja
5	ep	soja	ep	milho	ep	soja

Legenda: ep=ervilhaca peluda; av=aveia preta; nb=nabo forrageiro

Obs.: as rotações de 2000 a 2005 estão no anexo 1 e 2.

3.3 Amostragens do solo

As amostras de solo foram coletadas em todas as parcelas experimentais no mês de julho de 2009, nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 15 e 15 a 20 cm. Foram abertas seis pequenas trincheiras por tratamento/repetição, utilizando-se uma pá reta e com o auxílio de uma chapa metálica foram retiradas as amostras simples do perfil, e a partir destas, uma amostra composta por profundidade. Após a coleta as amostras de solo foram secas ao ar e encaminhadas ao Laboratório de Solo da UFGD, onde foram passadas em peneira de 2 mm e realizada as análises de fertilidade e fracionamento da matéria orgânica.

Para determinação da densidade do solo foram usados anéis de 95 cm³, com amostrador tipo Uhland. Com ajuda de uma faca foi retirado o anel e removido o excesso de terra, até igualar as bordas do anel. O solo obtido foi transferido para um recipiente e levado a secar em uma estufa de circulação forçada a 105°C até obter massa constante e depois foi pesado.

3.4 Determinações do solo

3.4.1 Fertilidade do solo

As amostras após serem peneiradas foram submetidas às determinações dos atributos químicos, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997) (Tabela 2).

Tabela 2: Valores médios dos resultados das análises químicas do solo realizada por sistemas de rotação de culturas, nas subcamadas da superfície, em 2009.

Rotação de Cultura*	Prof. cm	MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	pH SMP	P mg dm ⁻³	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	V %
						.....mmol _c dm ⁻³						
1	0-5	35,1	4,9	6,1	34,7	12,3	0,6	41,6	28,2	51,7	133,8	61,4
	5-10	27,0	4,7	5,7	26,5	6,2	1,6	32,8	20,0	72,7	131,7	44,8
	10-15	20,3	4,5	5,7	19,1	3,9	1,4	29,0	15,3	70,0	128,1	40,0
	15-20	18,9	4,7	5,8	7,1	2,5	2,0	27,9	15,6	80,7	116,8	37,0
2	0-5	35,9	4,4	6,0	45,9	10,6	0,8	38,6	25,0	65,0	139,2	53,3
	5-10	27,7	4,5	5,7	28,8	5,9	1,6	30,5	16,3	64,0	126,7	41,6
	10-15	25,2	4,5	5,8	15,8	4,3	1,3	31,0	15,2	61,7	120,0	44,3
	15-20	22,2	4,5	5,9	5,6	2,9	1,8	28,0	14,3	73,3	110,8	38,9
3	0-5	42,0	4,9	6,0	40,3	13,0	0,7	38,9	26,3	58,0	136,3	57,4
	5-10	27,8	4,5	5,7	32,3	6,6	1,8	29,7	16,9	76,0	129,1	41,1
	10-15	25,5	4,6	5,7	26,5	4,9	1,4	30,2	14,7	66,7	123,6	42,2
	15-20	24,2	4,6	5,8	7,5	3,8	2,2	28,0	14,1	76,7	115,4	38,0
4	0-5	47,1	4,8	6,0	39,1	9,9	0,6	40,7	27,9	55,7	134,1	58,5
	5-10	33,8	4,7	5,9	24,0	5,8	1,2	35,7	22,7	64,0	128,2	50,1
	10-15	35,7	4,7	5,8	14,4	4,0	1,4	29,1	17,1	61,3	121,2	42,6
	15-20	23,2	4,6	5,9	4,8	2,8	1,4	27,4	15,4	71,0	106,9	41,4
5	0-5	39,7	4,8	6,1	47,2	8,7	0,5	38,3	26,8	50,3	124,1	59,4
	5-10	29,8	4,4	5,7	28,2	6,1	1,4	27,3	17,4	72,7	123,5	41,2
	10-15	26,9	4,6	5,7	11,7	4,6	1,2	29,6	14,9	63,0	110,9	43,2
	15-20	23,2	4,7	5,9	5,1	3,4	1,8	26,3	15,1	76,0	122,0	37,7

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

No Anexo 3 estão os teores de matéria orgânica do ano de 2000 à 2007 nas mesmas parcelas. E no Anexo 4 e 5, estão apresentados a massa seca das culturas de inverno e verão de 2000 a 2008, onde as palhas das culturas de outono-inverno foram amostradas no florescimento pleno, antes de serem manejadas, com exceção do girassol, que foi amostrado imediatamente após a colheita dos grãos. A massa seca do milho e da soja foram determinadas após a colheita, próximo da semeadura das culturas de inverno.

3.4.2 Fracionamento físico da matéria orgânica

Para o fracionamento físico da matéria orgânica foi utilizado o método granulométrico descrito por Cambardella e Elliott (1992), com a alteração de utilizar como agente dispersante o hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N na proporção 5:1 (solo: solução) (NUNES et al., 2008), visando distinguir a fração particulada da associada aos minerais. Foram pesadas 50 g de amostra de solo, colocado em um recipiente, adicionado 10 ml de NaOH e 120 ml de água destilada, e posteriormente foi colocado em agitação lenta por 16 horas. Após dispersão, a amostra foi passada em peneira de 53 μm com auxílio de jato d'água destilada. A fração retida, constituída de areia grossa e fina, corresponde à fração particulada (MOP), e a fração não retida, constituída de material de tamanho correspondente a silte e argila, por conseguinte, corresponde a fração associada aos minerais do solo (MOM). As amostras de MOP foram secas em estufa de circulação forçada a 50°C até massa constante, pesadas e posteriormente moídas em almofariz de ágata até atingir homogeneidade granulométrica e de cor.

3.4.2.1 Carbono na fração particulada da matéria orgânica

A determinação dos teores de carbono na fração particulada da matéria orgânica (C-MOP) foi feita pela combustão por via úmida (WALKLEY e BLACK, 1934), e posteriormente, foi calculado considerando-se a massa de cada fração, representada em gramas de carbono por quilograma de partículas maior do que 53 μm (g kg^{-1}).

3.4.2.2 Nitrogênio na fração particulada da matéria orgânica

A determinação dos teores de nitrogênio na fração particulada da matéria orgânica (N-MOP) foi realizada segundo o método semi-micro-Kjeldahl (MALAVOLTA, 1997), e posteriormente, foi calculado considerando-se a massa de cada fração, representada em gramas de nitrogênio por quilograma de partículas maior do que 53 μm (g kg^{-1}).

3.4.2.3 Carbono e nitrogênio associados aos minerais do solo

O carbono e o nitrogênio associados aos minerais do solo (C-MOM e N-MOM respectivamente) foram calculados pela diferença dos valores totais obtidos nas amostras sem dispersão química com os valores obtidos nas amostras da matéria orgânica particulada, respectivamente (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992).

3.4.3 Densidade do solo

A densidade aparente foi determinada por meio do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Após secagem em estufa, obtemos a massa e dividimos esta pelo volume ocupado pelas partículas e poros obtendo a densidade do solo. Os valores médios da densidade do solo por rotação de cultura e por profundidade amostrada estão na Tabela 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3: Valores médios da densidade na superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).

Rotação de Cultura*	Densidade (kg dm ⁻³)
1	1,24
2	1,27
3	1,24
4	1,27
5	1,32

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;
 Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;
 Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;
 Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;
 Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Tabela 4: Valores médios da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).

Profundidade (cm)	Densidade (kg dm ⁻³)
0-5	1,09
5-10	1,32
10-15	1,34
15-20	1,31

3.4.4 Estoques de carbono e nitrogênio

Os estoques de carbono e nitrogênio foram calculados considerando a camada de solo amostrada e a densidade do solo, conforme Rangel e Silva (2007):

$$\text{Estoque (t ha}^{-1}\text{)} = [\text{teor (g kg}^{-1}\text{)} \cdot \text{espessura (cm)} \cdot \text{densidade (kg dm}^{-3}\text{)}] / 10$$

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, para verificação dos efeitos dos sistemas de rotação de culturas. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (SAEG, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as variáveis estudadas não houve diferença estatística na interação dos cinco sistemas de rotação de culturas com as quatro profundidades (Tabelas 5, 6 e 7). Isto ocorre devido à tendência que o sistema plantio direto tem em estabilizar as propriedades do solo com a adição dos resíduos culturais sem revolvimento do solo.

Tabela 5: Quadrados médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono associado aos minerais do solo (C-MOM), e seus respectivos estoques na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades.

Fonte de variação	Teor			Estoque		
	COT	C-MOP	C-MOM	COT	C-MOP	C-MOM
Bloco	10,379	0,087	8,935	3,251	0,027	2,777
Rotação de cultura (RC)	50,776*	0,146 ^{ns}	53,929*	23,536*	0,070 ^{ns}	24,165*
Profundidade (Prof.)	283,859*	79,316*	75,768*	44,726*	21,491*	15,212*
RC*Prof.	5,613 ^{ns}	0,066 ^{ns}	5,168 ^{ns}	2,215 ^{ns}	0,025 ^{ns}	2,085 ^{ns}
Resíduo	7,113	0,257	7,179	3,458	0,055	3,517
CV(%)	15,557	25,040	17,723	17,372	19,894	19,686

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

CV: Coeficiente de variação.

Tabela 6: Quadrados médios dos teores de nitrogênio total (NT), nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e nitrogênio associado aos minerais do solo (N-MOM), e seus respectivos estoques na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades.

Fonte de variação	Teor			Estoque		
	NT	N-MOP	N-MOM	NT	N-MOP	N-MOM
Bloco	0,089	0,005	0,054	0,038	0,001	0,025
Rotação de cultura (RC)	0,048 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,050 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,039 ^{ns}
Profundidade (Prof.)	2,804*	0,362*	1,171*	0,462*	0,099*	0,149*
RC*Prof.	0,056 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,025 ^{ns}
Resíduo	0,055	0,003	0,055	0,026	0,001	0,026
CV(%)	16,816	38,231	18,635	18,633	33,886	20,288

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

CV: Coeficiente de variação.

Tabela 7: Quadrados médios da relação C/N total, relação C/N na matéria orgânica particulada (C/N- MOP) e relação C/N na matéria orgânica associada aos minerais do solo (C/N-MOM) na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades.

Fonte de variação	Relação C/N.....		
	total	MOP	MOM
Bloco	5,219	33,484	6,237
Rotação de cultura (RC)	27,067*	35,607 ^{ns}	32,308*
Profundidade (Prof.)	8,624 ^{ns}	18,896 ^{ns}	14,578 ^{ns}
RC*Prof.	5,270 ^{ns}	19,223 ^{ns}	5,869 ^{ns}
Resíduo	5,485	25,566	6,140
CV(%)	18,620	30,264	20,154

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

CV: Coeficiente de variação.

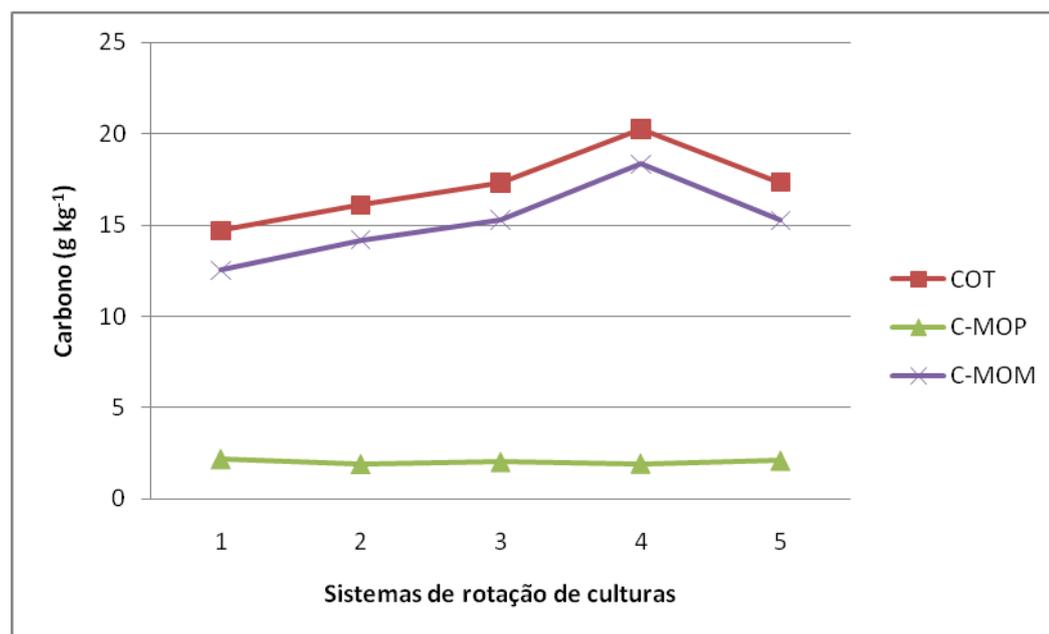


Figura 1. Valores médios de carbono orgânico total (COT), de carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e de carbono associado aos minerais (C-MOM) nos sistema de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

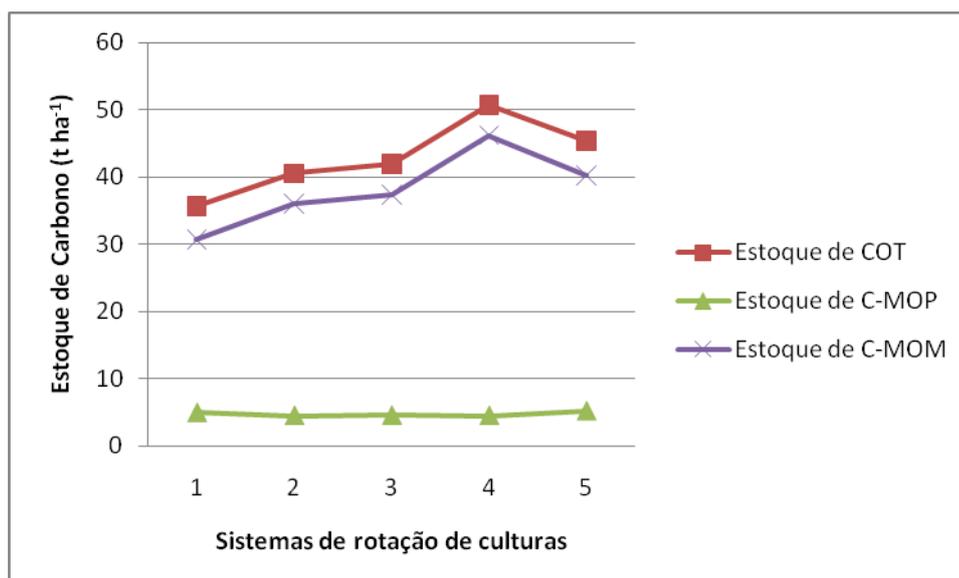


Figura 2. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), de carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e de carbono associado aos minerais (C-MOM) nos sistemas de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

Os teores de carbono total, associado aos minerais do solo, e seus respectivos estoques foram significativos para as rotações de culturas (Tabela 5), sendo que o sistema de rotação 4 (braquiária/ milho/ braquiária/ soja) se destacou com maiores teores, e o menor foi verificado no sistema 1 (nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/soja), conforme Figura 1 e Anexo 6. O mesmo ocorreu com o estoque de carbono, conforme Figura 2 e Anexo 7.

Como o C é o elemento predominante na composição da matéria orgânica, este elemento é considerado indicador de qualidade do solo, portanto, é imprescindível sua avaliação no solo. De acordo com tabela de interpretação de análise química de solo do Cerrado, proposto por Sousa e Lobato (2002), na camada de 0-20 cm de solos cultivados com culturas anuais e com textura muito argilosa, valores menores que 16 g kg⁻¹ de carbono consideram baixos, entre 16 e 20 g kg⁻¹ valores médios, e entre 21 a 30 g kg⁻¹ os adequados. Comparando estes níveis com o presente trabalho, apenas o sistema de rotação 1 (nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/soja) apresenta baixos teores de carbono total, e os demais sistemas se enquadram nos teores médios (Figura 1 e Anexo 6).

O carbono é um elemento essencial para o crescimento das plantas, e não são encontrados no material de origem do solo, portanto, sua adição ao solo é devido à

presença de matéria orgânica, produzida a partir dos resíduos deixados pelas culturas exploradas.

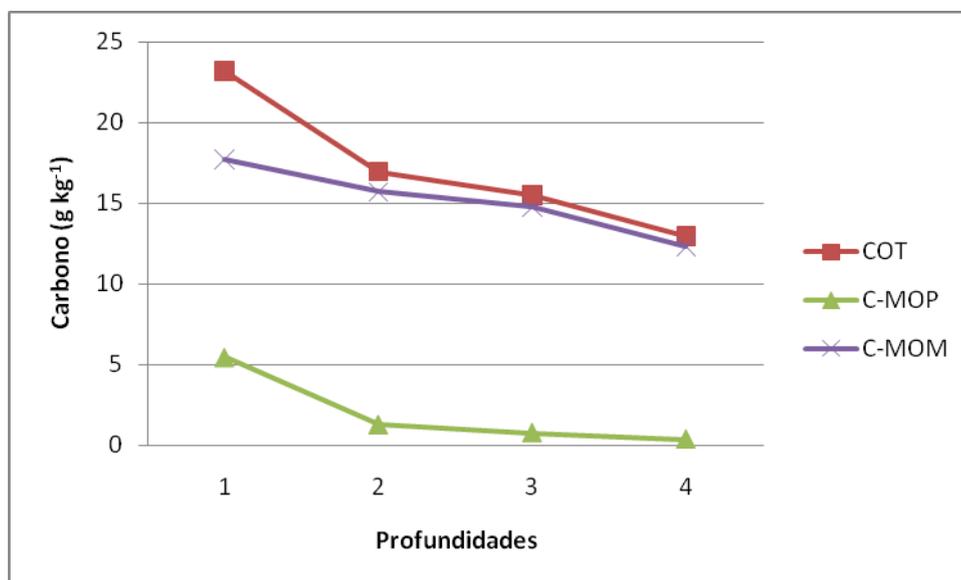


Figura 3. Valores médios de carbono orgânico total (COT), de carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e de carbono associado aos minerais (C-MOM) nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

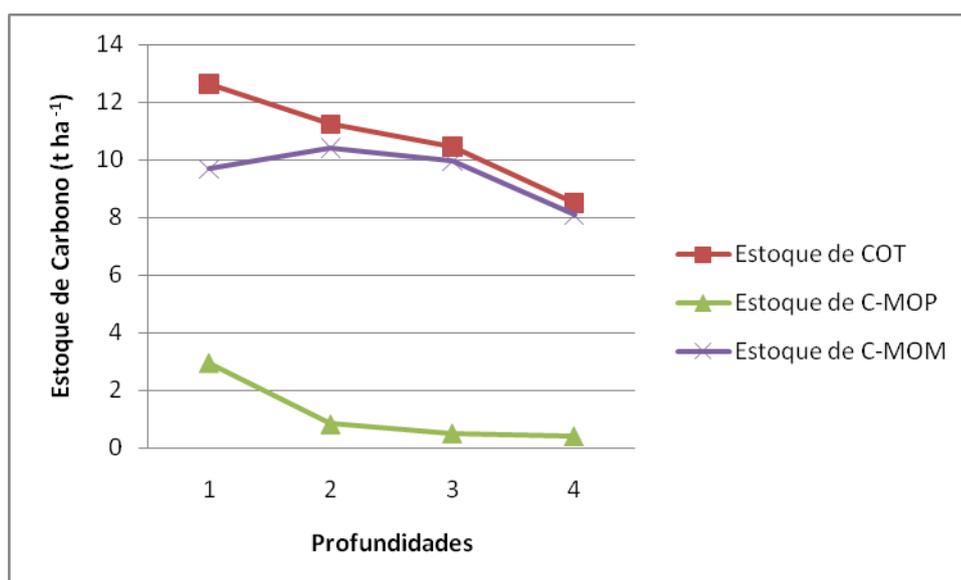


Figura 4. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), de carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e de carbono associado aos minerais (C-MOM) nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

Além dos teores de carbono total e associado aos minerais, quando comparados em profundidade, os valores de carbono na matéria orgânica particulada também foram significativos e, de modo geral para estas variáveis, a maior concentração encontra-se nos primeiros 5 cm de profundidade, com grande redução até atingir os 20 cm (Figura 3 e Anexo 7). Lopes et al. (2004), em áreas onde adotam o SPD no Sul do Brasil, observaram maior concentração de carbono na camada de 0 a 10, com acentuado decréscimo em profundidade.

Trabalho realizado por Salton et al. (2005), avaliando a matéria orgânica de Latossolos Vermelho coletados nos municípios de Dourados, Maracajú e Campo Grande (MS) sob diferentes formas de manejo, sugere que a utilização de diferentes sistemas de manejo promove alterações nos estoques de C do solo, sendo mais intensa na camada superficial. Verificaram que estas alterações são influenciadas pela fração particulada da MOS (MOP), cuja dinâmica é regulada principalmente pela disponibilidade de resíduos vegetais na superfície do solo.

Na Figura 4 e Anexo 8, observa-se que os estoques de carbono associado aos minerais, em profundidade, é maior na camada de 5 a 15 cm do que nos primeiros 5 cm e também na camada de 15-20 cm.

O C-MOP e seus respectivos estoques apresentam valores muito menores, tanto em diferentes sistemas de rotações de culturas quanto em profundidade, quando comparados com os valores de C-MOM (Figura 1, 2, 3 e 4). Isto ocorre devido à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial das areias (partículas $>53 \mu\text{m}$), onde se encontra a MOP (CHRISTENSEN; BERTELSEN; GISSEL-NIELSEN, 1989), que é a fração que apresenta pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em complexos organo-minerais (BALDOCK et al., 1992; CHRISTENSEN, 1992). A MOP, por ser a fração lábil, é facilmente perdida, sendo aquela que primeiramente será afetada com o mau uso do solo. Já a MOM é o compartimento mais estável, onde se encontra o estoque de carbono, que se altera a médio e longo prazo.

Nunes et al. (2008), num Latossolo Vermelho distroférico há 10 anos sob SPD, em região de Cerrado, realizaram o fracionamento da matéria orgânica deste solo, e obtiveram valores superiores aos resultados encontrados no presente trabalho (Figura 3 e Anexo 7), usando a mesma metodologia. Para a COP obtiveram 6,07; 3,70 e 2,05 g kg^{-1} para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 respectivamente, e para a COM, 29,13; 25,13 e 22,33 g kg^{-1} para as mesmas camadas.

Avaliando diferentes usos de manejo de solo, num Latossolo Vermelho distroférico de Goiânia, Freitas et al. (2000) na parcela referente ao plantio direto encontraram valores próximos aos deste presente trabalho para C fracionado, sendo o teor de C associado aos minerais $16,3$ e $14,8$ g kg^{-1} nas camadas de 0-10 e 10-20 respectivamente, e para o C na fração particulada os valores foram de $3,5$ e $2,0$ g kg^{-1} , nas mesmas profundidades.

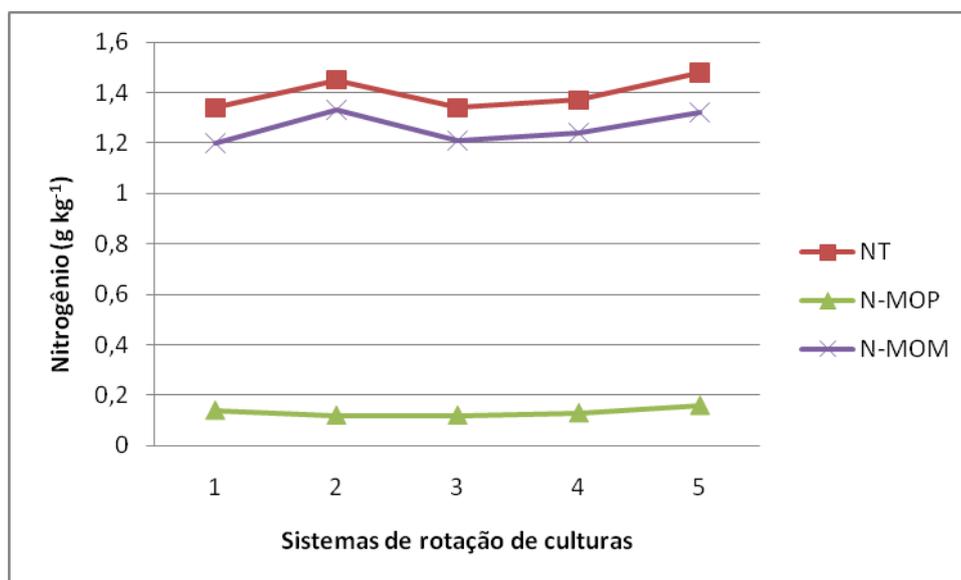


Figura 5. Valores médios de nitrogênio total (NT), de nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e de nitrogênio associado aos minerais (N-MOM) nos sistemas de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

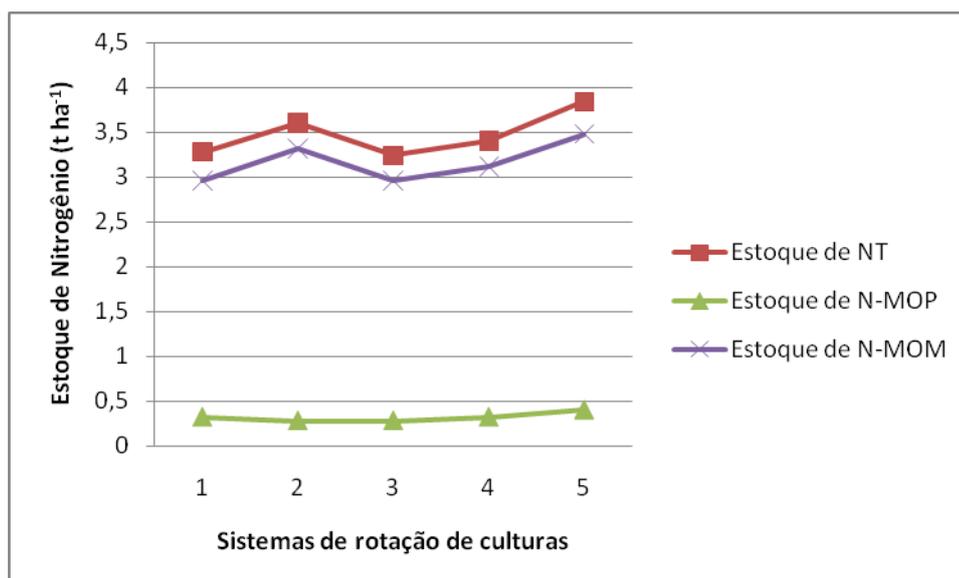


Figura 6. Valores médios dos estoques de nitrogênio total (NT), de nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e de nitrogênio associado aos minerais (N-MOM) nos sistemas de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

Os teores de nitrogênio total, na matéria orgânica particulada e associados aos minerais, e seus respectivos estoques não foram significativos para as rotações de culturas, mas foram significativos quando comparados em profundidades (Tabela 6).

O nitrogênio está entre os elementos essenciais para o crescimento das plantas e não é encontrado no material de origem do solo. A adição deste nutriente ao solo é devido à presença de matéria orgânica e de espécies de fabáceas, que realizam associações simbióticas com bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico.

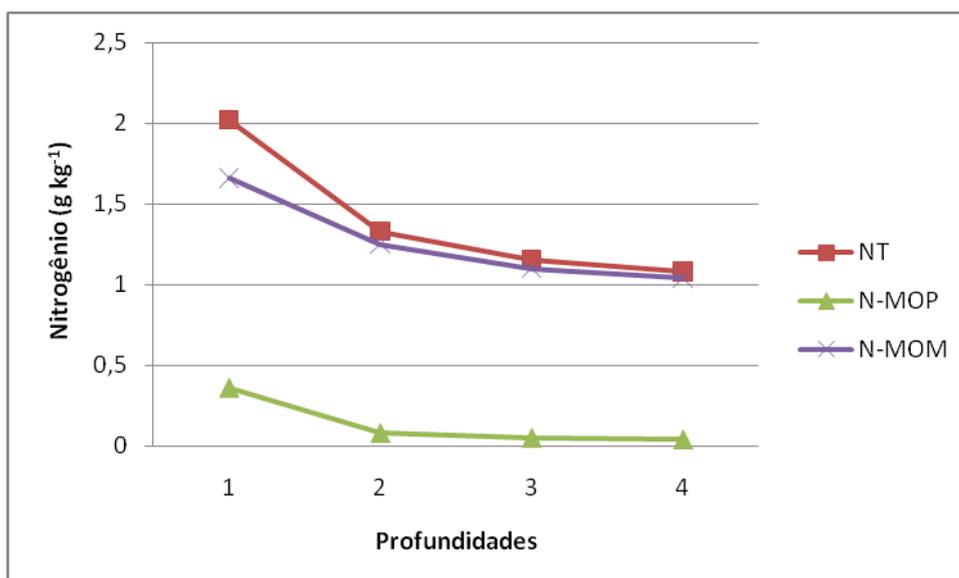


Figura 7. Valores médios de nitrogênio total (NT), de nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e de nitrogênio associado aos minerais (N-MOM) nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

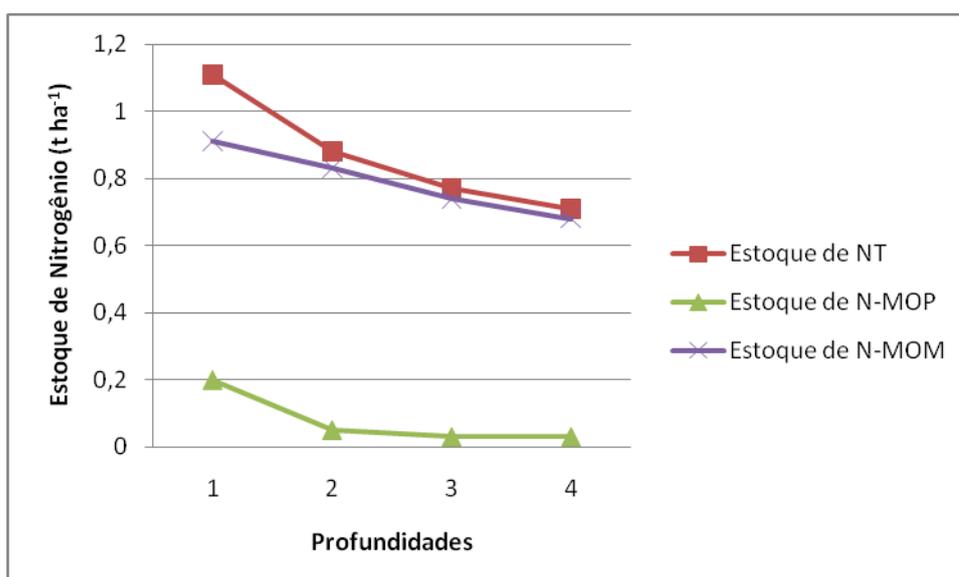


Figura 8. Valores médios dos estoques de nitrogênio total (NT), de nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e de nitrogênio associado aos minerais (N-MOM) nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

O N e seus respectivos estoques avaliados na fração particulada, como o carbono, também apresentam valores muito menores – tanto em diferentes sistemas de

rotações de culturas quanto em profundidade – do que na fração associada aos minerais (Figura 5, 6, 7 e 8), pois são pobres em complexos organo-minerais.

Verifica-se na Figura 7 e 8, e no Anexo 9 que os maiores valores médios de N total e fracionado, e seus respectivos estoques, estão na camada de 0-5 cm, se destacando entre as demais camadas.

Num Latossolo Vermelho distroférico de Goiânia, Freitas et al. (2000) avaliaram diferentes usos de manejo de solo, e no plantio direto encontraram valores próximos aos do presente trabalho para N fracionado, sendo o teor de N associado aos minerais 1,03 e 0,95 g kg⁻¹ nas camadas de 0-10 e 10-20 cm respectivamente, e, para o N da fração particulada 0,19 e 0,11 g kg⁻¹ nas mesmas profundidades.

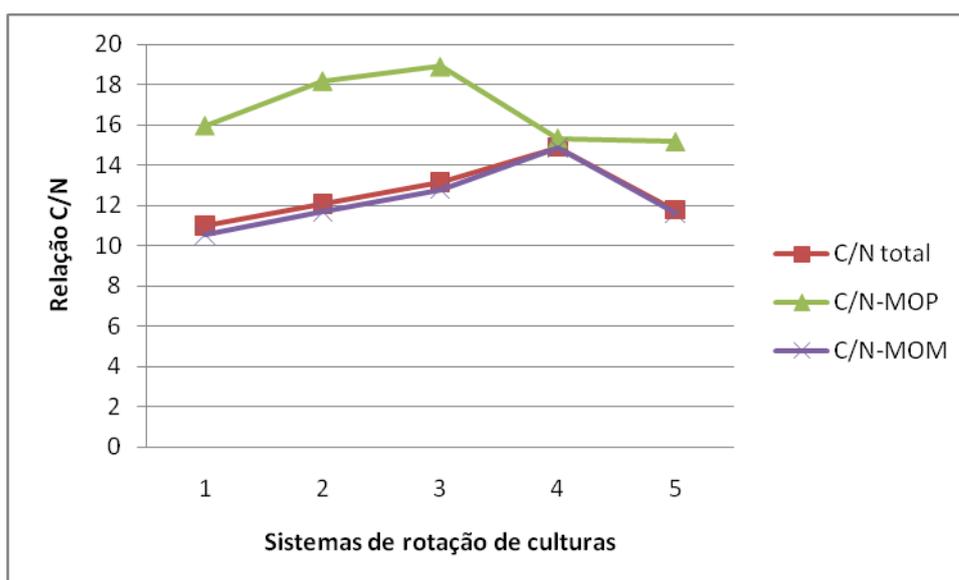


Figura 9. Valores médios da relação C/N total, da relação C/N na matéria orgânica particulada (C/N-MOP) e da relação C/N associada aos minerais (C/N-MOM) nos sistemas de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

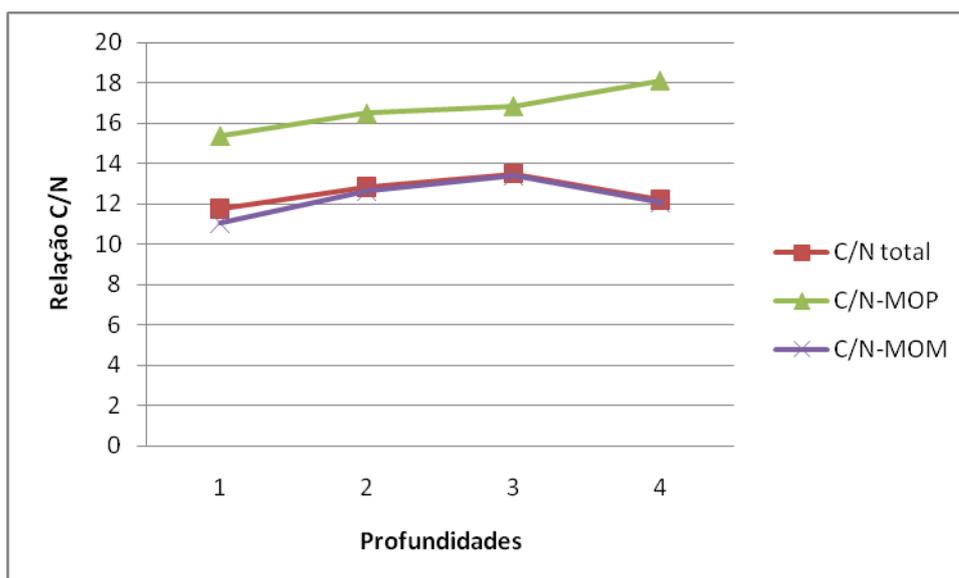


Figura 10. Valores médios da relação C/N total, da relação C/N na matéria orgânica particulada (C/N-MOP) e da relação C/N associada aos minerais (C/N-MOM) nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

Entre as relações C/N avaliadas, foram significativas as relações C/N total e a C/N-MOM quando comparada nas diferentes rotações de culturas (Tabela 7), e para ambas, o maior valor foi encontrado no sistema onde tinha braquiária no inverno (sistema 4), conforme Figura 9 e Anexo 10. Isto ocorreu, possivelmente, devido aos resíduos de gramíneas terem a relação C/N mais alta e, conseqüentemente, uma decomposição mais lenta. Segundo Muzilli (2006), espécies da família das gramíneas atuam de forma mais eficaz para promover a formação de agregados, tanto pela ação direta das raízes como pelo suprimento de resíduos orgânicos mais duradouros e estáveis.

O equilíbrio da relação C/N é muito importante para a matéria orgânica e o seu papel na qualidade do solo. A melhor alternativa para este equilíbrio é a alternância ou consórcio de gramíneas com outras espécies, principalmente as fabáceas (MUZILLI, 2006).

A relação C/N de todos os tratamentos está abaixo de 20 (Figura 9 e 10), o que, conseqüentemente, de acordo com Azevedo (2006), haverá um excesso de N no resíduo, que será mineralizado e desprezado pelos microrganismos, permanecendo disponível para as plantas já num primeiro momento.

Trabalho realizado por Silva (2007) na mesma área experimental, com amostras de solo coletadas no ano de 2005 e 2006, os resultados das médias obtidos para as mesmas variáveis foram muito próximas das deste trabalho, tanto nas diferentes rotações quanto nas subcamadas da superfície.

5 CONCLUSÃO

Os teores de carbono na matéria orgânica particulada e seu estoque no solo não são influenciados pelos diferentes sistemas de rotação de culturas utilizados neste trabalho;

A rotação de cultura 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) proporciona maiores teores de COT, C-MOM e seus respectivos estoques no solo;

A maior concentração de COT, C- MOP e C-MOM é verificado na profundidade de 0 a 5 cm;

Os teores de nitrogênio no solo não são influenciados pelos diferentes sistemas de rotação de culturas;

Na profundidade de 0 a 5 cm ocorre a maior concentração nos teores de NT, N- MOP e N-MOM;

A relação C/N total e da MOM é maior na rotação de cultura 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase ao plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 2003. p. 76-111.

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 1-9, 2003.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.1, v. 23, p. 679-686, 1999.

ANDRIULO, A.E.; GALANTINI, J.A.; PECORATI, C.; TORIONI, E. Materia organica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. **Agrochimica**, Pisa, v.34, n.5-6, p. 475-489, 1990.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

AZEVEDO, A.C. de. Matéria orgânica do solo. In: **Física e gênese do solo**. Rio Grande do Sul: UFMS. 2006. p. 87-96. Disponível em :
<http://w3.ufsm.br/fisica_e_genese/Graduacao/Solos_Prod_Animal/MOrganica_SPA_I semestre_2006.pdf> Acesso em: 01 nov. 2010.

BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.; WATERS, A.G.; PENG, X.; VASSALO, A.M.; WILSON, M.A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 16, p. 1-42, 1992.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3/4, p. 215-230, 2000.

BAYER, C.; BISSANI, C.A; ZANATTA, J.A. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006a. p. 7-30.

BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré-culturas e manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p. 59-86.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, S.R. dos. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006b. p. 161-188.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 469-475, mai./jun. 2003.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, p. 382-389, 1999.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 55-74.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a glassland cultivation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G. da; SILVA, M.B. e; SANTOS, G. de A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, jan., 2000.

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, 2001. p. 9-42.

CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. Plantas condicionadoras de solo: interação edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. p. 143-170.

CERETTA, C. Ciclagem de nutrientes como estratégia à maior eficiência no uso dos nutrientes. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p. 105-116.

CHAN, K.Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 1376-1382, 1997.

CHRISTENSEN, B.T.; BERTELSEN, F.; GISSEL-NIELSEN, G. Selenite fixation by soil particle-size separates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.40, p. 641-647, 1989.

CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS, 2000. 95 p.

CHRISTENSEN, B.T. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 20, p. 1-90, 1992.

COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. 249 p.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S. Organismos do solo e atividade microbiana no plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 39-54.

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**, Campinas, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CORREIA, J.R.; REATTO, A.; SPERA, S.T. Solos e suas reações com o uso e o manejo. In: SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 29-62.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FOSTER, R.C. Microorganisms and soil aggregates. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. East Melbourne, CSIRO, 1994. p. 144-155.

FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.-C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

GRAPEGGIA JÚNIOR, G.; AMADO, T.J.C.; MARCHEZAN, E.; CONCEIÇÃO, P.C.; PONTELLI, C.B.; ROSSATO, R.R.; DELLAMEA, B.C. Dinâmica do carbono e nitrogênio total sob diferentes sistemas de manejo em solos de várzea. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Resumos expandidos...** Santa Maria: UFSM, 2002. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reuni%e3o_Brasileira_Cuiab%e1/40.pdf> Acesso em: 04 out. 2006.

GREENLAND, D.J.; NYE, P.H. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. **Journal of Soil Science**, v. 9, n. 1, p. 265-289, 1959.

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. (Documentos, 4)

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; CAMPO, R.J. **A inoculação da soja**. Londrina: EMBRAPA-CPSO, 1997. 28 p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 17; EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 34).

IBGE. Milho e soja fazem Brasil ter produção recorde de grãos em 2007: IBGE, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1190&id_pagina=1> Acesso em: 05 jan. 2011.

IBGE. Produção Agrícola 2011 – primeiras estimativas da safra 2011, em nível nacional, em relação à produção obtida em 2010: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101comentarios.pdf> Acesso em: 05 jan. 2011.

JANTALIA, C.P.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, M., URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo. In: ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., AITA, C., BODEY, R.M., JANTALIA, C.P., CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas:**

impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p. 35-59.

KEMPER, W.D.; ROSENEAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Madison: America Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e Aplicações. 2. ed. Piracicaba/SP: Potafos, 1997, p.319.

MARQUES, T.C.L.L. de S e M; VASCONCELLOS, C.A.; PEREIRA FILHOS, I.; FRANÇA, G.E. de; CRUS, J.C. Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 581-589, mar., 2000.

MARTIN NETO, L.; ANDRIULO, A.; TRAGHETTA, D.G. **Fracionamento físico da matéria orgânica do solo e caracterização por espectroscopia de EPR**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1996. 7p. (Comunicado Técnico, 10).

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multireferencial. Campo Grande: Seplan/ IBGE, 1990. 28 p.

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**, Viçosa, v. 27, n. 3, jun., 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.;

LOPES, A.S.; ALVAREZ V., V.H. **Tópicos em Ciência do solo**, Viçosa, MG: SBCS, 2003. v. 3, p. 209-248.

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: ecossistema tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-9.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G. (Ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 29-44.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA J.O. **Microbiologia e bioquímicas do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 9-28.

NIELSEN, K.L.; MILLER, C.R.; BECK, D.; LYNCH, J.P. Fractal geometry of root systems: Field observation of contrasting genotype of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different phosphorus regimes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, n. 2, p. 181-190, 1999.

NUNES, R. de S.; SOUSA, D.M.G. de; GOEDERT, W.J.; SOAERS, J.R.R. Fracionamento da matéria orgânica de um solo sob sistema de preparo convencional e plantio direto. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 1992, Brasília. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

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: University of Hawaii, 1989. p. 69-95.

PEIXOTO, R.T. dos G. Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e consequências. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS/Embrapa-CNPS, 1997. CD-ROM

PEREIRA, J.; BURLE, M.L., RESCK, D.V.S. Adubos verdes e sua utilização no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., 1992, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 791-796, 2003.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

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**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 731-737, ago., 2004.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafós, 1991. 343 p.

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**, Viçosa, v.31, n. 6, p.1609-1623, nov./dez., 2007.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: Ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 47-86.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.).

Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

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

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29)

SÁ, J.C. de M., CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n. 5, p.1486-1499, 2001.

SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas:** Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 23p. (Documentos, 19).

SILVA, D.A. da. Efeito de sucessão de culturas na qualidade do solo em um sistema de plantio direto: Sucessão de culturas na matéria orgânica do solo em um sistema plantio direto. 2007. 71 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

SILVA, I.R. da; MENDONÇA; E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.de P.; PICCOLO, M.de C.; CERRI, C.E.P; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR) – Emissões de CO₂ e N₂O. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.33, n. 4, p. 1023-1029, jul./ago., 2009.

SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.5, p.1350-1358, 1999.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). Anexos. In: SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 381-416.

SPERA, S.T.; CORREIA, J.R. REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 41-70.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York : John Wiley & Sons, 1994. 496p.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 5-32.

VARGAS, M.A.T.; MENDES, I.C.; CARVALHO, A.M.; LOBO-BURIE, M.; HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 97-124.

VOSS, M.; SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 775-852, 1985.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n.1, p. 29-38, 1934.

7 ANEXOS

Anexo 1: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2000 a 2002.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2000.....		.....2001.....		.....2002.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja
2	girassol	soja	ep+av+nb	milho	girassol	soja
3	aveia preta	soja	girassol	milho	aveia preta	soja
4	av+ep	soja	nabo forrageiro	milho	av+ep	soja
5	ep	soja	ep	milho	ep	soja

Legenda: ep=ervilhaca peluda; av=aveia preta; nb=nabo forrageiro

Anexo 2: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2003 a 2005.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2003.....		.....2004.....		.....2005.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho
2	ep+av+nb	milho	girassol	soja	ep+av+nb	milho
3	girassol	milho	aveia preta	soja	girassol	milho
4	nabo forrageiro	milho	av+ep	soja	nabo forrageiro	milho
5	ep	milho	ep	soja	ep	milho

Legenda: ep=ervilhaca peluda; av=aveia preta; nb=nabo forrageiro

Anexo 3: Teores de matéria orgânica em função de diferentes rotações de culturas em cinco profundidades, nos anos de 2000 a 2007.

Rotação de Cultura*	Prof. (cm)	Matéria orgânica (g.kg ⁻¹)							
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	0-2,5	29,3	35,6	38,1	38,8	37,0	39,2	39,6	40,1
	2,5-5	27,9	31,9	32,7	30,1	33,7	35,4	34,7	36,5
	5-10	25,9	30,2	31,3	29,1	30,4	31,4	29,2	30,4
	10-20	22,9	27,5	26,1	25,4	27,8	27,8	25,2	26,7
	20-40	15,9	19,7	20,2	18,5	19,8	17,2	17,4	18,4
2	0-2,5	32,3	37,1	40,3	42,7	41,1	40,1	41,3	39,4
	2,5-5	30,3	32,3	33,6	32,3	36,9	37,2	36,8	33,1
	5-10	28,5	30,3	32,2	30,8	31,7	29,8	28,5	30,5
	10-20	25,4	26,9	29,5	28,2	26,5	22,7	23,1	24,3
	20-40	16,8	15,3	18,8	20,1	20,4	15,9	17,3	18,4
3	0-2,5	33,4	36,5	39,2	40,1	42,9	43,7	46,2	44,6
	2,5-5	31,8	31,3	35,7	36,4	36,8	35,7	38,7	37,3
	5-10	30,8	29,4	30,4	31,2	30,6	31,3	32,4	31,4
	10-20	27,3	25,7	28,3	28,4	25,4	27,4	25,2	26,7
	20-40	16,9	16,6	20,3	18,4	20,1	18,2	19,2	18,4
4	0-2,5	32,6	34,8	37,7	44,4	43,6	41,3	45,0	45,1
	2,5-5	32,9	32,4	34,2	36,2	37,3	34,3	34,9	39,4
	5-10	31,1	29,6	30,7	32,4	32,1	28,3	31,3	33,8
	10-20	27,3	21,8	22,4	24,1	29,2	23,7	27,1	29,7
	20-40	19,1	18,2	19,1	20,1	19,3	18,7	20,0	19,4
5	0-2,5	30,2	37,2	36,4	38,3	37,4	37,0	38,0	37,6
	2,5-5	29,1	33,4	35,2	32,3	35,9	31,4	32,5	32,5
	5-10	27,6	29,1	28,4	30,7	31,2	26,9	26,4	28,1
	10-20	22,8	28,2	27,1	25,7	26,1	21,6	23,0	24,6
	20-40	17,5	19,4	18,7	19,3	18,4	19,8	17,1	18,0

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;
 Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;
 Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;
 Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;
 Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 4: Massa seca das culturas nas diferentes sequências de rotação de culturas no período do inverno de 2000 ao inverno de 2004, em condições de plantio direto de sequeiro.

Sistema de Rotação de Cultura*	Massa seca das culturas (kg ha ⁻¹)								
	.....2000.....		.....2001.....		.....2002.....		.....2003.....		2004
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
1	4950	2300	3850	6200	5300	2210	4350	6200	5240
2	4450	2410	4420	6310	4820	2330	4850	6510	4920
3	4670	2440	4300	6120	4560	2486	4670	6120	4850
4	4500	2351	3950	6260	4792	2654	4500	6260	4350
5	2950	2245	3100	6360	3010	2264	2890	6450	3020

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 5: Massa seca das culturas nas diferentes sequências de rotação de culturas no período de verão de 2004 ao verão de 2008, em condições de plantio direto de sequeiro.

Sistema de Rotação de Cultura*	Massa seca das culturas (kg ha ⁻¹)								
	2004	.....2005.....		.....2006.....		.....2007.....		.....2008.....	
	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	2100	4300	6245	4350	2100	4240	6340	4300	2330
2	2310	4820	6110	4850	2310	4520	6225	4820	2210
3	2510	4760	6014	4670	2510	4350	6250	4760	2510
4	2351	4392	6341	4500	2351	5650	6050	6120	2451
5	2242	3100	6512	2890	2242	3020	6460	3100	2142

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 6: Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono associado aos minerais do solo (C-MOM), com os respectivos estoques na superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).

Rotação de cultura*	Teor (g kg ⁻¹)			Estoque (t ha ⁻¹)		
	COT	C-MOP	C-MOM	COT	C-MOP	C-MOM
1	14,70 b	2,18 a	12,52 b	35,64 c	4,92 a	30,72 c
2	16,10 b	1,91 a	14,19 b	40,52 bc	4,48 a	36,04 bc
3	17,31 ab	2,02 a	15,30 ab	41,92 bc	4,52 a	37,40 abc
4	20,27 a	1,94 a	18,33 a	50,68 a	4,48 a	46,20 a
5	17,34 ab	2,09 a	15,25 ab	45,32 ab	5,16 a	40,20 ab
DMS	3,12	-	3,13	8,68	-	8,76
MG	17,14	2,03	15,12	42,80	4,72	38,12

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade;

DMS: Desvio mínimo significativo;

MG: Média geral;

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 7: Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono associado aos minerais do solo (C-MOM), com os respectivos estoques em um Latossolo Vermelho distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).

Profundidade (cm)	Teor (g kg ⁻¹)			Estoque (t ha ⁻¹)		
	COT	C-MOP	C-MOM	COT	C-MOP	C-MOM
0-5	23,18 a	5,45 a	17,72 a	12,64 a	2,95 a	9,68 ab
5-10	16,95 b	1,26 b	15,69 ab	11,23 ab	0,83 b	10,40 a
10-15	15,51 bc	0,76 bc	14,74 bc	10,45 b	0,51 c	9,94 a
15-20	12,94 c	0,36 c	12,31 c	8,50 c	0,41 c	8,08 b
DMS	2,62	0,40	2,63	1,82	0,23	1,84
MG	17,14	2,03	15,12	10,70	1,18	9,53

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral

Anexo 8: Valores médios dos teores de nitrogênio total (NT), nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e nitrogênio associado aos minerais do solo (N-MOM), com os respectivos estoques na superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).

Rotação de cultura*	Teor (g kg ⁻¹)			Estoque (t ha ⁻¹)		
	NT	N-MOP	N-MOM	NT	N-MOP	N-MOM
1	1,34 a	0,14 a	1,20 a	3,28 a	0,32 a	2,96 a
2	1,45 a	0,12 a	1,33 a	3,60 a	0,28 a	3,32 a
3	1,34 a	0,12 a	1,21 a	3,24 a	0,28 a	2,96 a
4	1,37 a	0,13 a	1,24 a	3,40 a	0,32 a	3,12 a
5	1,48 a	0,16 a	1,32 a	3,84 a	0,40 a	3,48 a
DMS	-	-	-	-	-	-
MG	1,39	0,13	1,26	3,48	0,32	3,16

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade;

DMS: Desvio mínimo significativo;

MG: Média geral;

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 9: Valores médios dos teores de nitrogênio total (NT), nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e nitrogênio associado aos minerais do solo (N-MOM), com os respectivos estoques em um Latossolo Vermelho distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).

Profundidade (cm)	Teor (g kg ⁻¹)			Estoque (t ha ⁻¹)		
	NT	N-MOP	N-MOM	NT	N-MOP	N-MOM
0-5	2,02 a	0,36 a	1,66 a	1,11 a	0,20 a	0,91 a
5-10	1,33 b	0,08 b	1,25 b	0,88 b	0,05 b	0,83 ab
10-15	1,15 bc	0,05 b	1,10 b	0,77 bc	0,03 bc	0,74 b
15-20	1,08 c	0,04 b	1,04 b	0,71 c	0,03 c	0,68 b
DMS	0,23	0,05	0,23	0,16	0,03	0,16
MG	1,39	0,13	1,26	0,87	0,08	0,79

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral

Anexo 10: Valores médios da relação C/N total, relação C/N na matéria orgânica particulada (C/N- MOP) e relação C/N na matéria orgânica associada aos minerais do solo (C/N-MOM) na superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).

Rotação de Cultura*	.....Relação C/N.....		
	total	MOP	MOM
1	11,00 b	15,96 a	10,54 b
2	12,09 b	18,19 a	11,68 b
3	13,14 ab	18,90 a	12,80 ab
4	14,89 a	15,33 a	14,86 a
5	11,78 b	15,16 a	11,60 b
DMS	2,74	-	2,90
MG	12,58	16,71	12,29

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade;

DMS: Desvio mínimo significativo;

MG: Média geral;

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

Anexo 11: Valores médios da relação C/N total, relação C/N na matéria orgânica particulada (C/N- MOP) e relação C/N na matéria orgânica associada aos minerais do solo (C/N-MOM) em um Latossolo Vermelho distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).

Profundidade (cm)	.....Relação C/N.....		
	total	MOP	MOM
0-5	11,76 a	15,38 a	11,07 a
5-10	12,85 a	16,49 a	12,65 a
10-15	13,49 a	16,85 a	13,41 a
15-20	12,21 a	18,11 a	12,05 a
DMS	-	-	-
MG	12,58	16,71	12,29

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral

CAPÍTULO II

FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM LATOSSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

FORMAS DE ALUMÍNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Orientador: Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

RESUMO

Os métodos precursores de avaliação da fertilidade do solo baseados nas análises de alguns atributos químicos devem ser revistos e, em manejos conservacionistas, levar em consideração as relações construídas com o tempo de cultivo, pois o acúmulo de matéria orgânica propicia, entre outros, a complexação desta com o alumínio, alterando os teores de Al trocável e, principalmente, de Al não trocável na solução do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as diferentes formas do alumínio, a matéria orgânica e a CTC de um Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, em diferentes rotações de culturas sob sistema plantio direto. As amostras do solo foram coletadas em 2009, na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, em Dourados, MS. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, e os tratamentos organizados num esquema fatorial 5x4, sendo cinco sistemas de rotação de culturas: 1- ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja; 2 – girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/ milho/ girassol/ soja; 3 – aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja; 4 - ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/ soja; 5- ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja; e quatro profundidades do solo: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. Foi extraído o alumínio trocável com KCl, o trocável+não trocável com o CuCl_2 e o Al trocável foi obtido pela diferença destes. Concluiu-se que os sistemas de rotação de culturas não influenciam no pH e na CTC do solo. A menor concentração de Al total e não trocável foi verificada no tratamento 5. A maior concentração de matéria orgânica e da CTC do solo, e o menor teor de Al total, trocável e não trocável está na camada de 0 a 5 cm.

Palavras-chave: rotação de culturas, alumínio não trocável, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions.

ALUMINUM FORMS IN A DISTROFIC RED LATOSSOL UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

CINTHIA RAQUEL MANCIN

Adviser: Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza

ABSTRACT

The precursory methods of soil fertility evaluation based on the analyses of some chemical attributes should be reviewed and, in conservationist handlings, take in consideration the relationships with time of cultivation. The accumulation of organic matter propitiates, among other, the complexation of chemicals with aluminum, altering exchangeable Al tenors and, mainly, of non exchangeable Al in the solution of the soil. The objective of this work was to evaluate the different forms of aluminum, the organic matter and CTC of a clayey distroferic red Latossol, in different crop rotations under no-tillage system. The soil samples were collected in 2009, in Experimental Farm of Federal University of Great Dourados - UFGD, in Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil. Experimental design was in randomized blocks with three replicates, and the treatments in a factorial 5x4 with five rotation cultures: 1 – veth+oat+turnip / soy / turnip / corn / veth+oat+turnip / soy, 2 - sunflower / soy / veth+oat+turnip / corn / sunflower / soy, 3 - oat / soy / sunflower / corn / oat / soy, 4 - ervilhaca+aveia / soy / brachiaria / corn / brachiaria / soy, 5 – veth / soy / turnip / corn / turnip / soy; and four depths of the soil: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. The exchangeable aluminum was extracted with KCl, the exchangeable plus non exchangeable with CuCl_2 . Exchangeable Al was obtained by the difference of these. The conclusion was that the rotation culture systems had no influence in the soil cation exchange capacity (CEC) and pH. The lower amount of total and non-exchangeable Al was in the system 5. The higher organic matter amount and CEC, and lower levels of total, exchangeable and non-exchangeable Al was in the 0-5 cm depth.

Key words: crop rotations, non-exchangeable Al, organic matter, cation exchange capacity.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos precursores de avaliação da fertilidade do solo baseados nas análises de alguns atributos químicos devem ser revistos e, em manejos conservacionistas, levar em consideração as relações construídas com o tempo de cultivo, pois ocorre aumento no teor de matéria orgânica e, por conseguinte, alterações particulares nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

O acúmulo de matéria orgânica propicia a complexação desta com o alumínio, alterando os teores de Al trocável e, principalmente, de Al não trocável na solução do solo, sendo este denominado por alguns autores de Al orgânico. Devido a isto, é verificado por vários autores que, no sistema plantio direto, os teores de alumínio (Al) observados geralmente são menos tóxicos para as plantas, pois ocorrem modificações nas relações entre os indicadores de acidez e de fertilidade, obtendo bom desenvolvimento e rendimento de plantas, efeito de um processo de auto-organização e mudança do nível de ordem do sistema solo.

A matéria orgânica é a responsável por grande fração da CTC dos solos, observado isto na superfície de solos em plantio direto, já que a mineralogia do solo não é afetada pelo manejo. A CTC dos solos apresenta relação direta com o pH do solo (pH dependente), e este, apresenta relação inversa com o Al do solo.

Nesse sentido, realizamos este trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes rotações de culturas, em plantio direto com onze anos de implantação, nos teores de matéria orgânica, de Al total, trocável e não trocável, da CTC e do pH em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, localizado em Dourados, MS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização regional

A classe dos Latossolos representa 46% dos solos do Bioma Cerrado (REATTO et al., 1998), e 95% desta são solos distróficos e ácidos (SPERA et al., 2006). São solos minerais, não hidromórficos, profundos e com baixo teor de sílica e de bases trocáveis, resultado da lixiviação pelo intemperismo acentuado que, por conseguinte, são enriquecidos com óxidos de ferro e de alumínio (agentes agregantes que dão à massa do solo aspecto maciço poroso e estrutura granular muito pequena). Apresentam baixo potencial de reserva de nutrientes para as plantas em razão da baixa a média CTC, pH na faixa entre 4,0 e 5,5 e baixos teores de fósforo disponível (RESENDE et al., 1995).

A fração argila dos Latossolos é composta principalmente de caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibbsite) (RESENDE et al., 1995; BAYER et al., 2006), o que confere características de carga variável aos solos, ou seja, carga dependente de pH (BAYER et al., 2006).

O valor de pH é a parte do hidrogênio do solo dissociada na forma de H^+ , considerada a acidez ativa (RAIJ, 1991), e para Sousa e Lobato (2002a), este valor em água, para uma produção ser economicamente viável deve ser de 5,5 a 6,3, mas, trabalho realizado por Almeida et al. (1999) mostra que em solos com altos teores de matéria orgânica, este valor pode ser reduzido à 5,2.

Em solos muito ácidos ocorre dissolução de alumínio, que passa a ser um componente da acidez potencial (RAIJ, 1991). A grande quantidade de alumínio nestes solos é considerado um dos maiores causadores de prejuízos às plantas, já que a disponibilidade e/ou deficiência de outros nutrientes são resolvidos com a adição destes, através da adubação de solo (ALMEIDA et al., 1999; SOUSA et al., 2007).

Esta presença de alumínio tóxico pode ser um fator limitante ao uso dos solos de Cerrado e, quando encontrado nas camadas subsuperficiais associado a baixos níveis de cálcio, são provavelmente os fatores mais limitantes para o desenvolvimento radicular em profundidade, restringindo a absorção de água, nutrientes e,

consequentemente, a produtividade das culturas (SOUSA e LOBATO, 2002a; SPERA et al., 2006).

Uma razão da ocorrência de acidez do solo é dada pela remoção de cátions básicos (pelas culturas e por lixiviação) do complexo de troca catiônica (Ca, Mg, K, etc.) substituindo-os por Al trocável e hidrogênio não dissociado. Outra forma de acidificação do solo ocorre com a adição de fertilizantes nitrogenados e ainda com os processos finais da mineralização da matéria orgânica do solo ou de resíduos vegetais, decorrente da nitrificação do amônio. Nesta reação, o cátion amônio transforma-se no ânion nitrato e dois cátions hidrogênio, e este, como tem grande afinidade com o solo, reage com ele, ocupando posições de troca em forma não dissociada, liberando um cátion correspondente, que fica na solução do solo em condições de serem lixiviados (RAIJ, 1991).

Muitas dessas reações se explicam pelos dois principais mecanismos de adsorção de íons e moléculas que são a atração eletrostática e a quimiosorção ou adsorção específica. A atração eletrostática é um fenômeno físico de atração de cargas de sinais contrários, sendo que a preferência da superfície negativa por cátions aumenta em função da valência do íon e da diminuição do raio hidratado, sendo assim, a sequência dos cátions trocáveis mais importantes em solos: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na$. Já a quimiosorção é uma interação química com compartilhamento de elétrons dos elementos envolvidos, que ocorre entre grupos funcionais da superfície dos minerais e da matéria orgânica com íons ou moléculas presentes na solução do solo, sendo importante, entre os elementos essenciais às plantas, para os ânions fosfato, sulfato e molibdato, cátions metálicos (Cu^{2+} , Zn^{2+}) e ácido bórico. Este segundo mecanismo apresenta interação mais forte e específica em relação ao primeiro, resultando em baixas concentrações dos elementos e compostos na solução do solo (BAYER et al., 2006).

Para contornar as características indesejáveis desta classe de solos e obter uma produção sustentável, além das correções do solo, aplicações de fertilizantes, utilização de cultivares adaptadas, associado com manejo do solo e rotação de cultura proporcionaria melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológica desses solos. Isto ocorre, devido aos resíduos das plantas comerciais e das plantas de cobertura aumentar os teores e a qualidade da matéria orgânica, e consequentemente, incrementar a agregação e elevar a disponibilidade de água do solo (SPERA et al., 2006).

2.2 Alumínio do solo e o sistema plantio direto

Para viabilização técnica e econômica, o plantio direto deve ser visto como um sistema de produção que abrange um complexo ordenado de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes, que incluem o não-revolvimento do solo, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter a palhada sobre o solo e, mais recentemente, a integração lavoura-pecuária (MUZILLI, 2000). É recomendado que antes da sua implantação, deve ser adotadas técnicas de construção da fertilidade do solo, entre estas, a calagem (com incorporação), visando corrigir a acidez do solo, tornar insolúvel o alumínio (LOPES et al., 2004) e muitas vezes corrigir a deficiência de cálcio e magnésio (MUZILLI, 2006).

Após a implantação do sistema, a correção da acidez do solo é realizada com a aplicação superficial de calcário, sem incorporação ao solo, que se justifica pela manutenção das características físicas, principalmente a agregação, favoráveis à conservação e à elevação do nível de ordem (complexidade) do solo, obtidas ao longo do tempo (MIELNICZUK et al., 2003). Muzilli (2006) também afirma que a eficácia da calagem sem incorporação no SPD é devida ao papel desempenhado pela fração orgânica na dinâmica de íons, cujos ácidos orgânicos de baixo peso molecular, promovem a ciclagem de elementos químicos inorgânicos até as camadas mais profundas do perfil do solo.

Contudo, os critérios utilizados para a calagem e adubação no sistema convencional podem não ser adequados ao plantio direto (ANGHINONI, 2006), pois, os diferentes resíduos deixados pelas plantas de cobertura, neste sistema, tendem a causar importantes efeitos na fertilidade do solo, sendo os principais: acúmulo de matéria orgânica; incremento na formação de ácidos orgânicos; maior disponibilidade de macro e micronutrientes nas camadas superiores do perfil do solo; contribuição para o aumento da CTC; diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio e manganês; incrementos na mobilização dos nutrientes lixiviados ou pouco solúveis presente nas camadas mais profundas do perfil do solo (reciclagem) (CALEGARI, 2006). Por estes efeitos, neste sistema estabilizado, é observada menor demanda de calcário e adubos (LOPES et al., 2004).

Esta redução da acidez e diminuição da toxidez por Al se explica pela ação contínua de decomposição dos resíduos das culturas na superfície do solo, que liberam ácidos orgânicos de baixo peso molecular que formam complexos com o Al, e são

comprovados com o aumento dos teores de cátions de reação básica e de carbono orgânico solúvel, normalmente otimizado em resíduos de adubos verdes (MIYAZAWA et al., 2000).

Experimento realizado por Miyazawa et al. (2000) observaram em solos ácidos, que os resíduos de aveia preta e de centeio foram efetivos na mobilização do Ca e os de nabo forrageiro na complexação do Al trocável, onde a ciclagem dos íons através do solo induziu a formação de complexo organo-metálicos, sendo o Al substituído pelo Ca no complexo catiônico, e imobilizado por ligantes orgânicos.

Resultados obtidos por Salet et al. (1999) mostram a diminuição da toxidez do alumínio em solos em plantio direto por 8 anos, quando comparado com o plantio convencional, evidenciada pelo aumento em quase 2 vezes do alumínio complexado pela matéria orgânica, associado à diminuição das espécies mais tóxicas (Al^{3+} e $AlOH^{2+}$), e pela diminuição em 10 vezes da atividade do alumínio em solução.

Como visto, a adição de compostos orgânicos ao solo através das culturas e, principalmente, dos adubos verdes é uma alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas (ALCÂNTARA et al., 2000), devendo assim, ter cautela na escolha das plantas que poderão condicionar o solo, observando as principais características agrônômicas desejáveis que são: elevado rendimento de fitomassa e de sementes, ciclo compatível com o sistema de produção, sementes de fácil obtenção e colheita, baixa suscetibilidade a doenças e pragas, enraizamento profundo, tolerância ao alumínio, eficiência na extração e na ciclagem de nutrientes, elevada fixação de N_2 atmosférico, tolerância ao estresse hídrico, eficiência no controle de plantas invasoras e de nematóides, resultando em aumento na produtividade das culturas subsequentes (PEREIRA et al., 1992).

Trabalho realizado por Franchini et al. (2001) com objetivo de testar a capacidade de extratos vegetais na mobilização de calcário, avaliaram o crescimento radicular de trigo com os seguintes tratamentos: testemunha, calagem, calagem com resíduo de aveia preta, calagem com resíduo de nabo forrageiro e calagem com resíduo de trigo. Observaram que no tratamento com resíduos de aveia preta e nabo forrageiro aumentou o pH e o teor de Ca e diminuiu o teor de Al, favorecendo o crescimento das raízes até 20 cm de profundidade, no tratamento com resíduo de trigo as raízes cresceram 10 cm e a testemunha, apenas 5 cm. Com isto, concluíram que o calcário aplicado na superfície do solo apresenta baixa eficiência na correção da acidez

subsuperficial, e que esta eficiência pode ser melhorada através de compostos orgânicos hidrossolúveis liberados pelos resíduos vegetais.

Também para Silva e Mendonça (2007), a produção dos ácidos orgânicos varia com a espécie de adubo verde, sendo que alguns destes compostos têm maior habilidade de formar complexos estáveis com formas monoméricas de Al na solução do solo (principalmente Al^{3+}). Isto, possivelmente, explica a participação ativa destes compostos orgânicos em solos sob sistema plantio direto (SPD), fazendo com que obtenha muito pouca ou nenhuma resposta à calagem.

Devido a este importante benefício das plantas de cobertura liberarem ácidos orgânicos de baixo peso molecular capazes de formar complexos com o Al, Ca e Mg, proporcionando neutralização do Al tóxico e aumento de mobilidade no perfil do solo, Amaral et al. (2004) realizaram um trabalho onde, entre outras avaliações, realizaram a cromatografia líquida para identificar os ácidos presentes em diferentes resíduos vegetais e na solução do solo. Concluíram que na aveia preta houve o predomínio do ácido transaconítico, na ervilhaca predominou o ácido málico, no nabo forrageiro os ácidos cítrico e málico, mas não encontraram nenhum ácido orgânico de baixo peso molecular na solução do solo. No mesmo trabalho também observaram que o resíduo de nabo forrageiro foi o mais eficiente em aumentar o pH e os teores de Ca trocável e Mg trocável em relação aos resíduos de aveia e ervilhaca.

O nabo forrageiro é uma ótima opção na rotação de culturas, que entre vários efeitos benéficos ao solo, produz ácidos orgânicos que diminuem os efeitos tóxicos do alumínio e manganês através da formação de complexos (CALEGARI, 2006).

A aveia-preta é uma espécie muito utilizada no Mato Grosso do Sul, pois, não é muito exigente quanto à fertilidade do solo, apresentando bom desenvolvimento vegetativo mesmo em solos ácidos e com alumínio em níveis tóxicos (PITOL, 1986).

A inclusão do milho em rotação com soja no verão, e de culturas de duplo propósito como o trigo, aveia branca e cevada, ou de plantas de cobertura como aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca cultivadas isoladamente ou, preferencialmente, em consórcio, no inverno, contribuem para o aporte de resíduos vegetais ao solo, ciclagem de nutrientes e aumento da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2006).

2.3 Alumínio e matéria orgânica do solo

O manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto é diferente do plantio convencional, pois o aumento gradual do teor e qualidade da matéria orgânica e da concentração de nutrientes, a partir da superfície do solo, faz com que ocorram distintas alterações no perfil do solo, que influem na dinâmica da acidez e da disponibilidade dos nutrientes (ANGUINONI, 2006).

As principais alterações químicas destes solos, decorrentes da matéria orgânica, é devido a esta possuir grande número de grupos funcionais de superfície (principalmente o carboxílico) e alta superfície externa por unidade de massa de partículas (ASE), o que confere maior reatividade quando comparada aos minerais do solo. A matéria orgânica, além de ser a principal fonte de vários nutrientes como o N e o S, atua na troca de cátions (Al, Ca, Mg, K, Na e NH_4^+), na complexação de metais, como o Al e alguns nutrientes (Cu, Zn), e também no tamponamento da acidez (ativa e potencial) do solo (BAYER et al., 2006).

Os complexos altamente estáveis formados pela matéria orgânica com o Al, ameniza seu efeito tóxico (BAYER et al., 2006), e sua atividade na solução do solo é diminuída pelo aumento da concentração de bases como o Ca, Mg e K (SALET et al., 1999). Como nestas condições os valores de alumínio ligados à matéria orgânica são altos, quando há decomposição desta, o alumínio pode ser liberado para a solução do solo (ALMEIDA et al., 1999).

No caso de tamponamento do valor de pH, em relação a matéria orgânica, é devido à dissociação de H dos grupos funcionais, principalmente os carboxílicos (-COOH), enquanto que, em relação ao Al, em condições de pH baixo (<5,5), ocorre a reação de hidrólise pela presença do íon Al^{3+} , com liberação de íons H^+ (BAYER et al., 2006).

Objetivando a redução do volume de aplicação de calcário para solos altamente tamponados na região do extremo sul do Brasil, Almeida et al. (1999) avaliaram diversos métodos para diagnóstico de necessidade de calcário, para elevar o pH em H_2O em 5,2. Todos os métodos foram eficientes, mas o melhor foi o método que considerava o somatório do alumínio com a matéria orgânica, podendo ser facilmente adotado, pois são realizados em rotina nos laboratórios. Ainda neste trabalho, verificou que os solos com maior tamponamento são os que possuem altos teores de matéria orgânica, o que minimiza a toxicidade do Al aos vegetais.

Figueiredo e Almeida (1991), em trabalho onde visavam quantificar as formas trocáveis e não trocáveis de alumínio relacionadas com algumas propriedades do solo, chegaram à conclusão que, a matéria orgânica foi a propriedade que apresentou melhor correlação com as duas formas de alumínio nos solos.

2.4 Fracionamento do alumínio do solo

Bayer et al. (2006), em solos sob plantio direto, dividem a acidez do solo em ativa (H^+ da solução do solo), trocável (Al trocável) e potencial ou titulável (acidez trocável + H^+ da matéria orgânica). A acidez ativa refere-se à parte do hidrogênio que está dissociada e é expressa em valores de pH, sendo que seus baixos valores indicam maiores teores de Al^{3+} , na solução do solo, devido ao equilíbrio existente entre o alumínio e o hidrogênio.

A fração trocável do alumínio no solo envolve principalmente as formas monoméricas deste elemento, enquanto os polímeros inorgânicos e o alumínio complexado pela matéria orgânica constituem a fração não trocável (FIGUEIREDO e ALMEIDA, 1991).

A complexação de alumínio com ácidos orgânicos estáveis (ácidos húmicos) ocorre com maior intensidade na superfície dos colóides do solo em plantio direto, que, neste caso, o extrator KCl 1 mol L^{-1} não tem capacidade de remover o alumínio complexado, resultando em valores baixos de alumínio em pH também baixo (SALET et al., 1999). Portanto, esta extração, geralmente realizadas em análises de rotina de laboratórios de solo, determina apenas o alumínio trocável (EMBRAPA, 1997). Mesmo apresentando altos teores deste Al, o que apresenta restrição química ao crescimento radicular, isoladamente não é um bom indicativo para determinar a correção da acidez do solo (BAYER et al., 2006). Por outro lado, a acidez potencial engloba todas as fontes de acidez do solo, e é diretamente relacionada aos teores de matéria orgânica e de Al trocável (LOPES et al., 1991, BAYER et al., 2006).

Experimento realizado por Figueiredo e Almeida (1991), onde realizaram a extração de Al trocável + não trocável com $CuCl_2$ e com NH_4OAc para obter o Al não trocável por diferença, verificaram que o primeiro extrator foi mais eficiente, extraíndo valores maiores em relação ao outro.

Oliveira et al. (1997) em trabalho objetivando alcançar valores de alumínio orgânico extraído com CuCl_2 0,5 mol.L, alcançaram resultados semelhantes tanto em determinação indireta por potenciometria com eletrodo seletivo de íon fluoreto (ESIF), quanto por espectrofotometria de absorção atômica. Observaram também que a solução de CuCl_2 extraiu mais Al do que KCl 1 mol L^{-1} e, fato que foi acentuando com o aumento do teor de matéria orgânica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

Esta pesquisa faz parte de um projeto de longa duração que teve início em 1997, envolvendo produção de grãos baseada em sistemas de rotação e sucessão de culturas, no sistema plantio direto, implantado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizado no município de Dourados - MS (Latitude 22°14'S e Longitude 54°49'W e 452 m de altitude). Deve-se salientar que a última calagem realizada na área experimental foi no ano de 1999, utilizando-se uma tonelada por hectare de calcário filler (PRNT=86%), aplicado a lanço na superfície do solo.

O solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura muito argilosa (80% de argila, 14% de silte e 6% de areia), originalmente sob vegetação de cerrado.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é mesotérmico úmido do tipo Cwa, com temperaturas e precipitações médias anuais variando de 20 a 24°C e 1250 a 1500 mm, respectivamente (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, e os tratamentos organizados num esquema fatorial 5x4, sendo cinco sistemas de rotação de culturas (Tabela 1) e quatro profundidades do solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm), totalizando 20 tratamentos e 60 parcelas.

Cada parcela tem 36 m de comprimento por 11 m de largura (396 m²), nas quais foram semeadas as culturas de outono-inverno e de verão. O sistema de rotação considerado teve início com culturas de outono-inverno foram semeadas no ano de 2006 no dia 26 de abril, no ano de 2007, no dia 2 de maio e no ano de 2008, no dia 6 de maio. Todas as espécies foram semeadas mecanicamente, sendo utilizada para semeadura do

girassol (*Helianthus annuus*), uma semeadora equipada com três linhas, espaçadas entre si de 0,9 m, regulada para distribuir sete sementes por metro linear.

Para semeadura da braquiária (*Brachiaria ruzizienses*), aveia preta (*Avena stringosa*), do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L), da ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e das misturas de sementes, foi utilizada uma semeadora modelo TD 300, equipada com 17 linhas, espaçadas entre si de 0,17 m. Para a aveia preta, o espaçamento entre linhas foi de 0,17 m, com densidade de 50 sementes por metro linear. Tanto para a ervilhaca peluda como para o nabo forrageiro foi utilizado espaçamento de 0,34 m entre linhas, com 20 sementes por metro linear. Para a semeadura da aveia preta + ervilhaca peluda, foi utilizada uma proporção de 80 kg de sementes de aveia preta e 20 kg de sementes de ervilhaca peluda. Para a mistura de aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro foi feito pela mistura física das sementes na proporção de 70%, 20% e 10% respectivamente. A mistura foi semeada em espaçamento de 0,17 m, com uma densidade de 40 sementes por metro linear. No mês de agosto foi feito o manejo mecânico das culturas com rolo-faca. A aveia preta e o nabo forrageiro estavam na fase de grão pastoso e a ervilhaca peluda estava em pleno florescimento.

A soja foi semeada no início de novembro, sendo utilizada a variedade CD 202, no ano de 2006 e a variedade CD 219 RR no ano de 2008. Para ambas as variedades, foi utilizado um espaçamento de 0,45cm, com 14 sementes por metro linear e uma adubação 300 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-20.

Para a semeadura do milho, foi utilizado o híbrido DKB 390 semeado mecanicamente no dia 27 de outubro de 2007, com espaçamento de 0,9 m e uma população de 55.000 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi feita no sulco na dose de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-20-20 e na fase de seis folhas completamente desenvolvidas foi feita adubação de cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte a uréia.

Tabela 1: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2006 a 2008.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2006.....		.....2007.....		.....2008.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja
2	girassol	soja	ep+av+nb	milho	girassol	soja
3	aveia preta	soja	girassol	milho	aveia preta	soja
4	av+ep	soja	braquiária	milho	braquiária	soja
5	ep	soja	ep	milho	ep	soja

ep: ervilhaca peluda; av: aveia preta; nb: nabo forrageiro.

Obs.: As rotações de culturas de 2000 a 2005 estão no anexo 1 e 2.

3.3 Amostragens do solo

As amostras de solo foram coletadas em todas as parcelas experimentais no mês de agosto de 2009, nas quatro profundidades. Foram abertas seis pequenas trincheira por tratamento e por repetição, e com uma pá reta e o auxílio de uma chapa metálica foram retiradas as amostras simples do perfil, e a partir destas, uma amostra composta por profundidade. Após a coleta as amostras de solo foram secas ao ar e encaminhadas ao Laboratório de Solo da UFGD, onde foram passadas em peneira de 2 mm e realizada as análises de fertilidade e fracionamento do alumínio.

3.4 Determinações do solo

3.4.1 Fertilidade do solo

As amostras após serem peneiradas foram submetidas às determinações dos atributos químicos, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997), e foram determinadas para este capítulo o pH, o teor de matéria orgânica, a CTC e o Al trocável.

3.4.2 Fracionamento do alumínio do solo

O Al trocável foi extraído das amostras com a solução de KCl.

Para determinação do Al trocável + não trocável foram pesados 2 g de solo de cada amostra, adicionado a solução de CuCl_2 , seguindo-se com agitação durante 30 minutos em mesa horizontal, e após a extração, permaneceram em repouso por 16 horas. O sobrenadante foi retirado e feito a determinação do alumínio por espectrofotometria de absorção atômica (FIGUEIREDO e ALMEIDA, 1991; ZAMBROSI et al., 2007).

O alumínio não trocável foi obtido pela diferença do Al extraído com CuCl_2 com o Al extraído com KCl (FIGUEIREDO e ALMEIDA, 1991).

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, para verificação, em cada profundidade, dos efeitos dos sistemas de rotação de culturas. As comparações das médias foram feitas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (SAEG, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis estudadas não houve diferença significativa na interação dos cinco sistemas de rotação de culturas com as quatro profundidades estudadas (Tabela 2).

Tabela 2: Quadrados médios para pH em CaCl₂, matéria orgânica (MO), CTC e alumínio total, trocável e não trocável de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de rotação de culturas e profundidades.

Fonte de variação	pH	MO	CTC	Alumínio		
				total	trocável	não trocável
Bloco	0,113	30,847	40,797	26,575	0,618	19,142
Rotação de cultura (RC)	0,084 ^{ns}	150,915*	102,522 ^{ns}	273,256*	0,261 ^{ns}	261,372*
Profundidade (Prof.)	0,102 ^{ns}	843,680*	1231,030*	118,632*	3,917*	92,893*
RC*Prof.	0,038 ^{ns}	16,683 ^{ns}	32,867 ^{ns}	8,651 ^{ns}	0,075 ^{ns}	7,691 ^{ns}
Resíduo	0,071	21,142	56,744	21,721	0,334	17,980
CV(%)	5,734	15,557	6,069	11,364	43,405	10,686

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade;

CV: Coeficiente de variação.

Os valores de pH da superfície dos solos amostrados não diferiram estatisticamente tanto nas diferentes rotações de culturas, quanto nas profundidades avaliadas (Tabelas 2). O pH está relacionado com a concentração dos H⁺ na solução do solo, que determina a acidez ativa, e a redução desta no solo promove a insolubilização de Al e Mn, aumentando assim a disponibilidade de vários nutrientes para as plantas (SOUSA et al., 2007). De acordo com os valores de interpretação de análise química do solo do Cerrado, proposta por Sousa e Lobato (2002b) para as culturas anuais na camada de 0-20 cm, o pH das amostras de solos analisados no presente trabalho são classificados como médios (Figura 1), mesmo com a presença natural de argilominerais geradores de acidez e a sua última calagem ter sido realizada em 1999. De acordo com

Sousa et al. (2007) em condições de acúmulo de matéria orgânica e no estágio final de sua mineralização, a oxidação libera elétrons, podendo ocasionar um aumento no pH.

Para Bayer et al. (2006), existe um equilíbrio entre o Al e o pH do solo, pois, baixos teores de pH indicam maiores valores de Al^{3+} na solução do solo, portanto consideram o pH um indicador das condições de acidez do solo.

Tabela 3: Valores médios de pH em $CaCl_2$, matéria orgânica, CTC e alumínio total, trocável e não trocável da superfície (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de rotação de culturas (Média de 12 repetições).

Sistema de rotação de cultura*	pH ($CaCl_2$)	Matéria orgânica ($g\ kg^{-1}$)	CTC ($mmol_c\ dm^{-3}$)	Alumínio		
				total .....($mmol_c\ dm^{-3}$).....	trocável	não troc.
1	4,71 a	25,34 b	127,60 a	47,03 a	1,40 a	45,63 a
2	4,50 a	27,75 b	124,14 a	43,53 a	1,37 a	42,16 ab
3	4,64 a	29,85 ab	126,10 a	42,01 ab	1,52 a	40,49 bc
4	4,70 a	34,95 a	122,61 a	37,25 bc	1,15 a	36,10 cd
5	4,64 a	29,89 ab	120,14 a	35,23 c	1,22 a	34,01 d
DMS	-	5,37	-	5,45	-	4,96
MG	4,64	29,56	124,12	41,01	1,33	39,68

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade;

*Sistema 1: ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja;

Sistema 2: girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja;

Sistema 3: aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja;

Sistema 4: ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja;

Sistema 5: ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja.

DMS: Desvio mínimo significativo;

MG: Média geral.

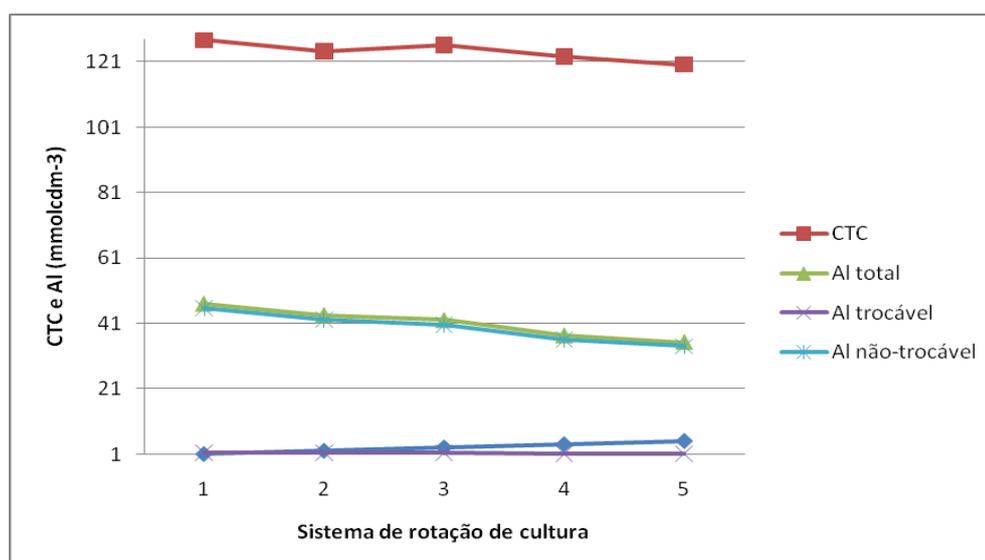


Figura 1. Valores médios da CTC, Al total, Al trocável e Al não trocável nos sistema de rotação de culturas 1 (ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja), 2 (girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/milho/ girassol/ soja), 3 (aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/soja) e 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja).

Na Tabela 2, verifica-se que os teores de matéria orgânica do solo apresentam diferença estatística quando comparadas nos diferentes sistemas de rotações de culturas, e na Tabela 3, observa-se o maior valor para o sistema 4 (braquiária/ milho/ braquiária/ soja), e menor nos sistemas 1 (nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/soja) e 2 (ervilhaca+aveia+nabo/ milho/ girassol/ soja). Também houve diferença estatística nas profundidades (Tabela 2), e na Tabela 4 verifica-se o maior teor de matéria orgânica na camada 0-5 cm, diferindo das demais profundidades, diminuindo gradativamente com o aumento da profundidade.

Para Sousa e Lobato (2002b), na camada de 0-20 cm de solos cultivados com culturas anuais e com textura muito argilosa, valores menores que 28 g kg^{-1} de matéria orgânica é considerado baixo, entre 28 e 35 g kg^{-1} os valores médios, e entre 36 a 52 g kg^{-1} considerados altos. Comparando estes valores com o presente trabalho, o sistema de rotação 1 (nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/soja) e 2 (ervilhaca+aveia+nabo/ milho/ girassol/ soja) apresentam baixos teores de matéria orgânica, e os demais sistemas, se enquadram nos teores médios (Tabela 3).

A quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) quando comparada à massa total de solos minerais tropicais é muito pequena, mas possui grande influência sobre várias propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e também exerce várias funções nos ecossistemas terrestres (SILVA e MENDONÇA, 2007). Estas influências podem ser diretas ou indiretas (BAYER et al., 2006), e dada a importância deste componente do solo, é de fundamental importância a devida escolha de espécies à serem colocadas em rotação, para que tenha os efeitos da matéria orgânica maximizados.

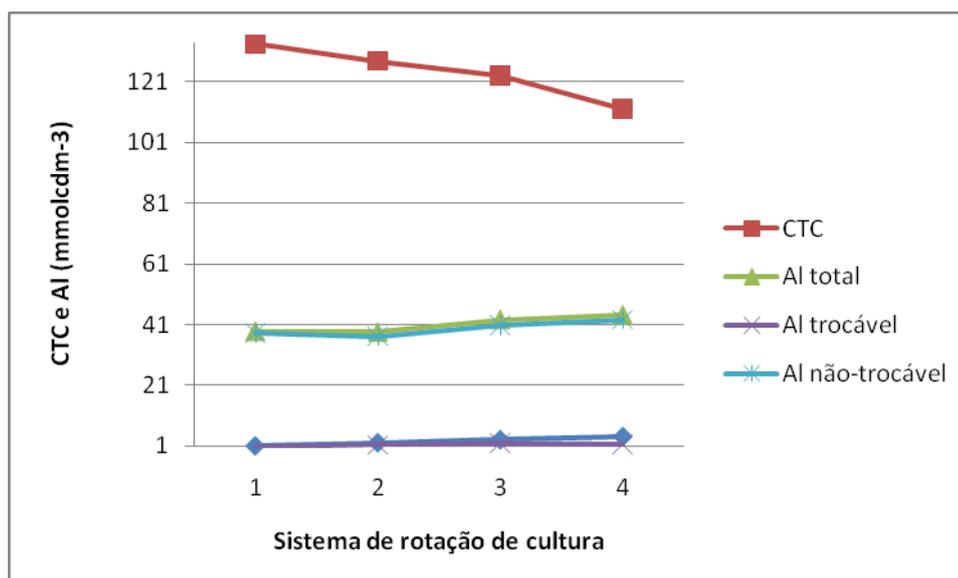


Figura 2. Valores médios da CTC, Al total, Al trocável e Al não trocável nas profundidades 1 (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-15 cm) e 4 (15-20 cm).

Tabela 4: Valores médios de pH em CaCl₂, matéria orgânica, CTC e alumínio total, trocável e não trocável de um Latossolo Vermelho distroférico sob rotação de culturas nas subcamadas da superfície (Média de 15 repetições).

Profundidade (cm)	pH (CaCl ₂)	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	CTC (mmol _c dm ⁻³)	Alumínio		
				total .....(mmol _c dm ⁻³).....	trocável	não troc.
0-5	4,75 a	39,96 a	133,50 a	38,79 b	0,63 b	38,15 b
5-10	4,59 a	29,22 b	127,85 ab	38,48 b	1,34 a	37,15 b
10-15	4,57 a	26,73 bc	122,97 b	42,65 ab	1,84 a	40,81 ab
15-20	4,64 a	22,31c	112,16 c	44,12 a	1,52 a	42,60 a
DMS	-	4,51	7,39	4,57	0,57	4,16
MG	4,64	29,56	124,12	41,01	1,33	39,679

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade;

DMS: Desvio mínimo significativo;

MG: Média geral.

A CTC do solo apresenta diferença estatística apenas quando comparadas às profundidades do solo (Tabela 2), onde se verifica o maior valor na camada de 0-5 cm, e o menor na camada de 15-20, apresentando efeito direto com a matéria orgânica, reduzindo gradativamente nas quatro camadas amostradas (Tabela 4 e Figura 2).

Sousa e Lobato (2002a), Bayer et al. (2006), Muzilli (2006) e Sousa et al. (2007) também afirmam que a CTC têm elevada correlação com a matéria orgânica do solo, pois solos com maior teor de matéria orgânica apresentam maior CTC. Isto ocorre, pois, nos horizontes superficiais dos latossolos, os minerais predominantes na

fração argila (caulinita e óxidos de Fe e de Al) apresentam baixa CTC ($<10 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$), com cargas dependentes de pH, e por isto, é a matéria orgânica do solo com sua carga líquida negativa, ganha importância como responsável pelo aumento da CTC destes solos, uma vez que possuem CTC de 200 a $400 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$.

De acordo com Sousa e Lobato (2002b), a CTC em solo muito argiloso entre 121 a $180 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ encontra-se em níveis adequados, portanto, neste trabalho apenas o sistema de rotação de culturas 5 (ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja) está abaixo deste valor (Tabela 3 e Figura 1).

Os teores de alumínio total, trocável e não trocável apresentam diferença significativa nas diferentes rotações e profundidades, com exceção apenas do alumínio trocável nas rotações de culturas (Tabela 2). Os menores valores de Al total e não trocável estão nas rotações de culturas onde deixaram maior teor de matéria orgânica no solo, que são os sistemas 3 (girassol/ milho/ aveia/ soja), 4 (braquiária/ milho/ braquiária/ soja) e 5 (ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja) (Tabela 4 e Figura 2). Segundo Zambrosi et al. (2007), o incremento nos teores de matéria orgânica no solo pelo SPD, pode alterar as relações entre os teores de Al trocável e não trocável, devido à complexação desse cátion.

A acidez trocável se refere à quantidade de Al^{3+} , H^+ e cátions de hidrólise ácida adsorvida por força de caráter eletrostático, mas, como para muitos solos estes dois últimos elementos são encontrados em quantidade muito pequena, em análise de rotina de fertilidade do solo, considera-se apenas o Al^{3+} , pela sua predominância na acidez trocável (SOUSA et al., 2007).

A toxidez de Al^{3+} para as plantas está relacionada com a CTC do solo, pois a saturação por alumínio depende da CTC efetiva do solo, sendo assim, se dois solos têm o mesmo teor de Al^{3+} , o que tiver maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} terá menor saturação por Al^{3+} , e a toxidez será menor (SOUSA et al., 2007).

A acidez potencial é composta pela acidez trocável e não trocável do solo, que são o H^+ e o Al^{3+} adsorvidos em forma eletrovalente, bem como os íons H ligados covalentemente que se dissociam de compostos orgânicos, de grupos OH na superfície das argilas, e de alguns polímeros de Al. Esta acidez tem ampla variação em seus valores, que dependem principalmente de características do solo relacionadas com seu poder tampão, oriundo da presença de matéria orgânica (SOUSA et al., 2007).

Em relação aos solos ácidos de plantio direto, Salet et al. (1999) e Bayer et al. (2006) afirmam que em decorrência da decomposição dos resíduos vegetais no solo,

ocorre menor concentração das espécies de Al consideradas tóxicas, e maior concentração de Al complexado com ligantes orgânicos, determinando sua menor atividade na solução do solo. Bayer et al. (2006) ainda complementa que os complexos formados do Al com a MOS são altamente estáveis.

No trabalho de Salet et al. (1999) observaram que o Al complexado pela matéria orgânica foi 43% maior na área de plantio direto por 8 anos quando comparada ao manejo convencional, o teor de Al^{3+} , que é a forma mais tóxica, reduziu quase pela metade e ainda diminuiu em 10 vezes a atividade na solução do solo, sendo um dos fatores o aumento da concentração de bases como Ca, Mg e K.

Pesquisa realizada em um Latossolo Vermelho cultivado por 55 meses no SPD, Zambrosi et al. (2007), determinaram os teores de alumínio trocável e não trocável após diferentes doses de calcário e gesso, observaram que a forma não trocável foi predominante em todas as profundidades avaliadas (Figura 4). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos no presente trabalho, cujos valores encontram-se muito próximas.

5 CONCLUSÃO

Os sistemas de rotação de culturas não influenciam no pH e na CTC do solo;

A menor concentração de Al total e não trocável foi verificada no tratamento 5 (ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja);

A maior concentração de matéria orgânica e da CTC do solo está na camada de 0 a 5 cm;

Na camada de 0 a 5 cm encontra menor teor de Al total, trocável e não trocável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F.A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M.B. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALMEIDA, J.A. de; ERNANI, P.R.; MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 651-656, 1999.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo, dinâmica da acidez e calagem em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p. 31-58.

BAYER, C.; BISSANI, C.A; ZANATTA, J.A. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p. 7-30.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 55-74.

CERETTA, C. Ciclagem de nutrientes como estratégia à maior eficiência no uso dos nutrientes. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p. 105-116.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FIGUEIREDO, O.A.R., ALMEIDA, J.A. Quantificação das formas trocáveis e não trocáveis de alumínio em solos ácidos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 151-156, 1991.

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 357-360, abr./jun. 2001.

LOPES, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do Solo e Calagem**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

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

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multireferencial. Campo Grande: Seplan/ IBGE, 1990. 28p.

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

MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 92, p. 1-8, 2000.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: AEACG, 2000. p. 1-16.

MUZILLI, O. Manejo do solo em plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 9-28.

OLIVEIRA, C.C.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.; FRANCHINI, J.C. Determinação de alumínio orgânico extraído do solo com CuCl_2 por potenciometria eletrodo seletivo de fluoreto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1., 1996, Sao Carlos. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1997. p. 399-405.

PEREIRA, J.; BURLE, M.L., RESCK, D.V.S. Adubos verdes e sua utilização no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., 1992, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.

PITOL, C. **A cultura da aveia e sua importância para o MS**. Maracajú: COTRIJUÍ, 1986. 35 p. (Boletim Técnico, 1).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: Ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 47-86.

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

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo no sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz, Cruz Alta*, n. 1, p. 9-13, 1999.

SILVA, I.R. da; MENDONÇA; E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002a. p. 81-96.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). Anexos. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002b. p. 381-416.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. de; OLIVEIRA, S.A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 205-274.

SPERA, S.T.; CORREIA, J.R. REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 41-70.

ZAMBROSI, F.C.B., ALLEONI, L.R.F., CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 487-495, 2007.

7 ANEXOS

Anexo 1: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2000 a 2002.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2000.....		.....2001.....		.....2002.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja
2	girassol	soja	ep+av+nb	milho	girassol	soja
3	aveia preta	soja	girassol	milho	aveia preta	soja
4	av+ep	soja	nabo forrageiro	milho	av+ep	soja
5	ep	soja	ep	milho	ep	soja

Legenda: ep=ervilhaca peluda; av=aveia preta; nb=nabo forrageiro

Anexo 2: Sistemas de rotação de culturas com as espécies de verão e de inverno no período de 2003 a 2005.

Sistemas de rotação de culturas	Ano					
	.....2003.....		.....2004.....		.....2005.....	
	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão
1	nabo forrageiro	milho	ep+av+nb	soja	nabo forrageiro	milho
2	ep+av+nb	milho	girassol	soja	ep+av+nb	milho
3	girassol	milho	aveia preta	soja	girassol	milho
4	nabo forrageiro	milho	av+ep	soja	nabo forrageiro	milho
5	ep	milho	ep	soja	ep	milho

Legenda: ep=ervilhaca peluda; av=aveia preta; nb=nabo forrageiro