



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES
CLAROS**

**ESTOQUES E FRAÇÕES DE CARBONO
ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB PLANTIO
DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL NO
SEMIÁRIDO**

RAFAEL PEREIRA SALES

2014

RAFAEL PEREIRA SALES

**ESTOQUES E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL
NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

Orientador
Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro

JANAÚBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014

Sales, Rafael Pereira

S163e Estoques e frações de carbono orgânico em latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido [manuscrito] / Rafael Pereira Sales. – 2014.
64 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2014.

Orientador: Prof. DSc. Rodinei Facco Pegoraro.

1. Carbono. 2. Matéria orgânica. 3. Solos Manejo. I. Pegoraro, Rodinei Facco. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 631.47

RAFAEL PEREIRA SALES

**ESTOQUES E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL
NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA em 30 de setembro de 2014.

Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro
UNIMONTES (Orientador)

Pesq. Dr. Arley Figueiredo Portugal
EMBRAPA (Coorientador)

Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo
UNIMONTES

Prof. Dr. Luiz Henrique Arimura Figueiredo
UNIMONTES

**JANAÚBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014**

A Deus, criador e formador de todas as coisas.

*À minha esposa Ester e minha filha Esterzinha,
pelo carinho e compreensão.*

*À minha mãe, Márcia Suely, ao meu pai,
Nelcino, irmão e irmã, cunhadas, sogro e
sogra.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, saúde, sabedoria e paciência, pelos caminhos e oportunidades que tens colocado diante de mim, pela força de lutar e nunca desistir, por ter colocado pessoas excelentes no meu caminho, e por estar sempre ao meu lado, concedendo a graça de realizar este sonho;

Aos meus pais, Nelcino e Márcia Suely, pela dedicação, esforço e ensinamento para que eu pudesse chegar aonde cheguei;

Aos meus irmãos, Neilson e Ana Izabel, e minhas cunhadas pelo apoio;

À minha esposa Ester e minha filha Esterzinha, pelo carinho, amor e compreensão, sempre ao meu lado;

Ao meu sogro e minha sogra, Edgar e Célia, por terem sido como pais para mim;

A todos meus colegas, amigos e familiares que me ajudaram nessa jornada;

À Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, pela oportunidade de estudo;

A CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro e concessão de bolsas;

À EMBRAPA Milho e Sorgo, e ao Pesquisador José Aloíso Alves Moreira, pela oportunidade de realização do trabalho;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido;

Ao Professor Dr. Rodinei Facco Pegoraro, que me orientou com boa vontade e dedicação,

Ao Dr. Arley Figueiredo Portugal, pelo apoio e por suas orientações;

Ao Professor Dr. Marcos KoitiKondo, pelo apoio e contribuição;

Ao Professor Dr. Luiz Henrique Arimura Figueiredo, pela contribuição;

A todos que de alguma forma me ajudaram e participaram dessa grande fase da minha vida.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Matéria Orgânica do Solo	3
2.2 Importância da matéria orgânica no solo.....	7
2.3 Sistemas de Manejo do Solo	10
2.3.1 Sistema de Preparo Convencional do Solo	12
2.3.2 Sistema Plantio Direto	13
2.4 Coberturas Vegetais	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Teores e estoques de COT e NT no solo dos cultivos agrícolas	25
4.2 Teores e estoques de carbono nas frações da matéria orgânica em cultivos sob sistema plantio direto e preparo convencional	32
4.3 Índices de humificação e sustentabilidade dos cultivos agrícolas.....	44
5 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1. Atributos químicos das camadas de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade do Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, antes da implantação do estudo.....	18
TABELA 2. Uso e manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média e produtividade de feijão obtida sob sistemas de: preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM).	19
TABELA 3. Resumo das análises de variância para os teores e estoques de COT, NT e nas frações da MOS de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, submetido aos distintos sistemas de cultivo: preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN), para as camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade do solo.....	23
TABELA 4. Densidades (Ds) médias nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM) e mata nativa (MN).....	24
TABELA 5. Teores médios de nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN). ..	25
TABELA 6. Teores médios de carbono solúvel em água (CSA), carbono lábil (CL), carbono não lábil (CNL), Fração ácido fúlvico (FAF), Fração ácido húmico (FAH), Fração humina (FH), Substância húmicas (SH) e Relação carbono/nitrogênio (C/N) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).....	33

TABELA 7. Índice de humificação (IH), grau de polimerização (GP), relação extrato alcalino / fração humina (EA/FH), índice de labilidade (IL), índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (L) e índice de manejo de carbono (IMC) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN). ..**45**

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Crescimento da área plantada sob plantio direto.....	13
FIGURA 2. Precipitação e temperatura média mensal, do período de implantação à avaliação do estudo.....	17
FIGURA 3. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas camadas 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN)..	28
FIGURA 4. Estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN)..	29
FIGURA 5. Incremento de carbono (COT) e nitrogênio (NT) nas camadas (0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG) e milho (PDM) em comparação aos mesmos cultivos implantados no sistema de preparo convencional.	31
FIGURA 6. Estoques de carbono solúvel em água (CSA) e carbono lábil (CL) camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).....	38
FIGURA 7. Estoques de carbono (C) nas frações ácidos fúlvicos (FAF), húmicos (FAH) e húminas (FH), substâncias húmicas (SH) e carbono não lábil (CNL) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).....	42

RESUMO

SALES, Rafael Pereira. **Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido**. 2014. 64p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba - MG¹.

A remoção da vegetação natural e a implantação de sistemas de cultivo agrícola provocam impacto direto sobre a estocagem de matéria orgânica e suas frações no solo. O revolvimento do solo pelo sistema de preparo convencional favorece a oxidação, reduzindo o estoque de carbono, principalmente nas frações lábeis. Por outro lado, a pequena mobilização do solo pelo sistema de plantio direto preserva a cobertura morta, mantendo e aumentando o estoque de carbono. No semiárido, estudos com tais sistemas são escassos. Portanto, este trabalho objetivou-se avaliar os estoques de COT e NT no Latossolo do semiárido e nas distintas frações da MOS, bem como, os índices de humificação e de manejo do carbono de cultivos agrícolas em sistemas de plantio direto (SPD) e sistema preparo convencional (SPC). Foram adotados seis tratamentos: T1: SPD, sucessão milho-pousio-feijão-pousio (PDM); T2: SPD, sucessão sorgo-pousio-feijão-pousio (PDS); T3: SPD, sucessão girassol-pousio-feijão-pousio (PDG); T4: SPC, sucessão milho-pousio-feijão-pousio (PCM); T5: SPC, sucessão sorgo-pousio-feijão-pousio (PCS); T6: SPC, sucessão girassol-pousio-feijão-pousio (PCG); e a testemunha: mata nativa (MN). As três culturas foram semeadas no verão, precedentes à semeadura de feijão no outono/inverno. A mata nativa foi a referência para os cultivos. Foram utilizadas parcelas experimentais de 18 x 18 m, com 256 m² de parcela útil. Após 2 anos e 3 meses da implantação dos cultivos foram avaliadas a massa de matéria seca dos resíduos vegetais da superfície do solo e nas profundidades 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, os estoques de: carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), substâncias húmicas (SH) e seus constituintes (fração ácidos fulvicos (FAF), húmicos (FAH) e humina (FH)), estoque de carbono lábil (CL), carbono não-lábil (CNL) e carbono solúvel em água (CSA). Foram determinados os índices: humificação (IH = FAH/COT); razão de humificação (RH = SH/COT); grau de polimerização (GP = FAH/FAF) e relação entre extrato alcalino e fração humina

¹**Comitê de orientação:** Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro - UNIMONTES (Orientador); Pesq. Dr. Arley Figueiredo Portugal - EMBRAPA (Coorientador); Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo - UNIMONTES (Conselheiro); Prof. Dr. Luiz Henrique Arimura Figueiredo - UNIMONTES (Conselheiro).

[$EA/FH = (FAF+FAH) / FH$]. Além dos índices de manejo de carbono: índice de compartimento de carbono (ICC); labilidade (L); índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC). Obteve-se maior estocagem de COT, NT, carbono nas SH, CL, CSA, índices manejo de carbono para a camada de 0,00 a 0,05 m do solo do semiárido cultivados com milho, girassol e sorgo sob SPD. Na camada de 0,05-0,10 m de profundidade os cultivos sob SPD (PDS, PDG e PDM) contribuíram para maior estocagem de carbono nas FAF e FAH do solo, observado também pelos maiores valores da relação EA/FH, em comparação ao SPC. Nas maiores profundidades, houve redução da influência dos sistemas de manejo sobre os teores e estoques de carbono no solo. O cultivo com milho em SPD contribuiu para maior estocagem de COT, CNL, NT, CL, carbono nas SH na camada de 0,00 a 0,40 m, e IMC em subsuperfície (0,10 a 0,20 m), mostrando-se mais promissor que o sorgo e girassol para a recuperação do estoque de carbono do solo. Nas condições semiáridas, o pouco tempo de implantação dos sistemas de plantio direto (2 anos e três meses), promoveu significativo aumento na estocagem de carbono de solo, bem como melhoria na qualidade da matéria orgânica do solo, indicado pelos valores de GP.

Palavras-chave: matéria orgânica, substâncias húmicas, manejo de carbono.

ABSTRACT

SALES, Rafael Pereira. **Stocks and fractions of organic carbon in a Latosol under no-tillage and conventional tillage in the semiarid**. 2014. 64p. Dissertation (Master's degree in Plant Production in the Semiarid) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG¹

The removal of natural vegetation and the deployment of agricultural cropping systems cause direct impact on the storage of organic matter and its fractions in the soil. The conventional tillage system due to tillage, favors the oxidation and subsequent reduction of the carbon stock in the soil, especially in labile. On the other hand, the system of tillage, due to low mobilization, preserves soil cover, contributing to maintaining and increasing the stock of soil carbon. In semiarid, studies with such systems are scarce. The stocks of carbon and nitrogen of a Latosol in the semiarid was evaluated under no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) with distinct cover crop. The experiment used one plot with 18 x 18 meters by treatment: being two tillage systems and three crop succession, reaching six treatments (T) plus the common check, as follows: T1: NT, maize-fallow-bean-fallow; T2: NT, sorghum-fallow-bean-fallow, T3: NT, sunflower-fallow-bean-fallow, T4: CT, maize-fallow-bean-fallow, T5: CT, sorghum-fallow-bean-fallow, T6: CT, sunflower-fallow-bean-fallow; Common check: native forest (NF), at least 40 years without anthropic intervention. In the summer, performed crop succession and in winter, beans. After 2 years and 3 months, mulch and was evaluated, and soil samples were collected at 0.00 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 to 0.20 and 0.20 to 0.40 m depth for assessment of: total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), humic substances (HS) and its constituents (fulvic acid fraction (FAF), humic (FAH) and humin (FH)), stock of labile carbon (CL), non-labile (CNL) and water soluble carbon (CSA) and determination of indexes: humification (IH: humification index (FAH / COT), RH: reason humification: (HS / TOC), GP: degree of polymerization (HAF / FAF), EA / FH: relationship between alkaline extract (FAF + FAH) and humin fraction) and carbon management (ICC: index of carbon compartment, L: lability, IL: lability index, and CMI: carbon management index). No-till systems promoted major storage COT, NT, carbon in HS, CL, CSA, carbon management index, than CT systems at 0.00 to 0.05 m of soil depth semiarid. At 0.05 to 0.10

¹**Guidance Committee:** Prof. PhD. Rodinei Facco Pegoraro - UNIMONTES (Advisor); Researcher. PhD Arley Figueiredo Portugal - EMBRAPA (Co-advisor); Prof. PhD. Marcos Koiti Kondo - UNIMONTES (Counselor); Prof. PhD Luiz Henrique Arimura Figueiredo - UNIMONTES (Counselor).

m depth, the NT systems contributed to higher carbon storage in soil FAF and HAF, was also observed by the highest values of EA/FH compared to CT. At larger depth, a reduction of the influence of management systems on the concentrations and stocks of soil carbon. The cultivation of corn in NT contributed to higher storage of COT, CNL, NT, CL, SH in carbon in the 0.00 to 0.40 m, and CMI in the subsurface (0.10 to 0.20m), being more promising for the recovery of the stock of soil carbon than the other systems. The no-tillage system in semi-arid conditions promote in a short time (two years and three months) increase in soil carbon stocks, as improvement in the quality of soil organic matter, indicated by the values of GP.

Keywords: Organic matter, humic substances, carbon management.

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é um complexo sistema de substâncias, cuja dinâmica está intimamente dependente da deposição de resíduos orgânicos de diferentes naturezas, com sucessivas transformações dependentes de fatores físicos, químicos e principalmente biológicos (MIELNICZUK, 2008). O carbono orgânico total (COT) é o principal componente da MOS, com 58 % de participação, enquanto que o nitrogênio total (NT), outro constituinte fundamental da MOS, pode chegar a 3% (SILVA e MENDONÇA, 2007).

A MOS, em função de suas inúmeras propriedades, é a principal determinante para a qualidade dos solos tropicais, altamente intemperizados e pobre, sem nutrientes disponíveis para as plantas (NOVAIS *et al.*, 2007). Essas propriedades são conferidas pelas substâncias húmicas, as quais compõe a maior porção da MOS, chegando a 90% do COT (SILVA e MENDONÇA, 2007).

A substituição da vegetação nativa pela atividade agrícola altera a qualidade do solo, reduzindo os estoques de COT e degradando as propriedades físicas, químicas e biológicas (CARNEIRO *et al.*, 2009; PORTUGAL *et al.*, 2010a; SÁ *et al.*, 2014).

O maior impacto do uso do solo ocorre no sistema de preparo convencional, com o revolvimento da camada superficial, provocando desestruturação, aumento da decomposição da MOS, redução na estocagem de carbono e nitrogênio no solo e, prejuízo das propriedades químico-físicas do solo (FLORES *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2011; TIVET *et al.*, 2013). Já cultivos conservacionistas como o plantio direto, que preconiza o não revolvimento do solo e a manutenção da cobertura vegetal, têm favorecido a estocagem de COT e substâncias húmicas no solo (CAMPOS *et al.*, 2013).

A utilização de gramíneas isoladas ou intercaladas com leguminosas no sistema de plantio direto favorece a maior produção de cobertura morta (CAMPOS *et al.*, 2013) e estocagem de carbono e nitrogênio no solo. Bayer *et al.* (2003), avaliando incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo sob o uso de plantas para cobertura do solo, observaram que a inclusão de leguminosas intercalares ao milho recuperou parcialmente o estoque de matéria orgânica do solo, mais que o cultivo exclusivo do milho.

Além do estoque de COT, NT e substâncias húmicas (SH) do solo, outras frações de maior labilidade como o carbono lábil (CL) e o carbono solúvel em água (CSA), permitem avaliar o impacto do sistema de uso, sobre o manejo do carbono e qualidade do solo (CAMPOS *et al.*, 2013; LEITE *et al.*, 2013).

Sob altas temperaturas, radiação solar e baixa pluviosidade, o semiárido brasileiro tem se destacado pelo grande investimento na atividade agrícola irrigada, permitindo o uso do solo o ano todo (SANTOS, 2010) e, muitas das vezes, com sistemas de manejo de baixa produção de resíduo vegetal, e com contínuo revolvimento do solo, reduzindo a estocagem de COT (SACRAMENTO *et al.*, 2013), levando graves perdas da qualidade dos solos (CORRÊA *et al.*, 2010).

Em condições do semiárido da Tunísia, o sistema de plantio direto melhorou a qualidade do solo, aumentando a CTC, estocagem de COT e macronutrientes do solo, em relação ao sistema de preparo convencional (MOUSSA-MACHRAOUI *et al.*, 2010). No entanto, para as condições do semiárido brasileiro, ainda são poucos estudos com distintas espécies vegetais e sistemas de cultivo alterando a estocagem de COT e NT nas frações da MOS.

Dessa forma, objetivou-se avaliar os estoques de COT e NT no Latossolo do semiárido e nas distintas frações da MOS, bem como, os índices de

humificação e de manejo do carbono de cultivos agrícolas em sistemas de plantio direto e preparo convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matéria Orgânica do Solo

O solo é um compartimento com amplo dinamismo em seus constituintes, estando fortemente ligado aos diversos processos ocorrentes em todo ecossistema. A sua parte sólida é formada pela fração mineral e orgânica (matéria orgânica do solo – MOS), sendo esta constituída basicamente por 58% de C, 6% de H, 33% de O e cerca de 3% de N, S e P (SILVA e MENDONÇA, 2007).

A MOS apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (MIELNICZUK, 2008).

Ao ser depositado no solo, o resíduo orgânico é inicialmente atacado pela meso fauna, como formigas, cupins e outros. Assim, ocorrem transformações promovidas por diversos microrganismos, provocando uma rápida redução dos compostos de baixo peso molecular (aminoácidos, proteínas, açúcares, amido e celulose), o que indica o início da degradação microbiana. Em seguida, o conteúdo protoplasmático microbiano e produtos intermediários recentemente sintetizados, são degradados por uma gama de microrganismos, formando nova massa microbiana e liberando dióxido de carbono. O final do processo é caracterizado pela lenta degradação de compostos menos lábeis por

actinomicetos e fungos, e formação de compostos estáveis (STEVENSON, 1994).

A MOS é compartimentada em matéria orgânica viva (raízes, macrofauna e microrganismos), que raramente ultrapassa 4% do carbono orgânico total (COT), e a matéria orgânica não vivente, composta por 3 a 20% de matéria orgânica leve (composta por restos vegetais em vários estádios de alteração) e húmus, constituído de substâncias não húmicas (carboidratos, lignina, lípidios, entre outros, que corresponde entre 10 e 15% do COT), e substâncias húmicas, que contribuem em torno de 85 a 90% do COT, sendo essa a fração mais estável (SILVA e MENDONÇA, 2007).

As substâncias húmicas (SH) representam uma parte da MOS constituída por compostos orgânicos com estruturas complexas e não definidas, com composição distinta e grande heterogeneidade, apresentando maior recalcitrância do que os resíduos de origem, não havendo vestígios microscópicos de tecidos ou células de tais (FONTANA, 2008).

As SH são formadas pelo processo de humificação, onde substâncias morfológicamente identificáveis, como polissacarídeos, hemiceluloses, proteínas, entre outras, são transformados por processos de degradação e ressíntese microbiana, em compostos de maior estabilidade, recalcitrância e reatividade (ZECH *et al.*, 1997).

As SH são separadas em três frações com características físico-químicas distintas, baseadas na solubilidade em meio ácido e básico: a fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e fração humina (FH). A FAF é solúvel em meio ácido e básico, sendo a fração de maior solubilidade e mobilidade no solo. Essa fração é a de menor massa molecular, e com maior número de grupos carboxílicos e fenólicos, sendo, portanto a fração mais reativa (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Segundo Piccolo (2002) a FAF é composta por moléculas pequenas e hidrofílicas, portadoras de grande número de grupos funcionais acídicos, capaz de manter os agregados dispersos a qualquer valor de pH.

A FAH é solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido, sendo constituído por moléculas de tamanho e massa molecular relativamente maior que a FAF. A FAH possui compostos com mais anéis aromáticos e menor quantidade de grupos carboxílicos do que a FAF (PICCOLO, 2002), no entanto, também apresenta alta reatividade, fato atribuído à presença do oxigênio nos grupos funcionais (CANELLAS, 2004). Para Piccolo (2002), a FAH é uma associação na qual predominam compostos hidrofóbicos (cadeias polimetilênicas, ácidos graxos, esteróides) estabilizados em pH neutro por forças hidrofóbicas dispersivas.

A FH é insolúvel em meio ácido e alcalino, possui uma composição complexa e variada, apresentando moléculas com longas cadeias de carbono, alto peso molecular, alta hidrofobicidade, menor reatividade e forte interação com compostos inorgânicos (RICE, 2001).

As FAF, FAH e FH possuem características químicas diferentes, apresentando nessa ordem: aumento do peso molecular, da intensidade da cor, do grau de polimerização, da recalcitrância, e, decréscimo da relação C/N e da acidez trocável (SILVA e MENDONÇA, 2007). Assim, cada uma dessas frações contribui de forma diferente com a qualidade do solo, pois se apresentam em diferentes teores (FH>FAH>FAF) como consequência da recalcitrância.

A MOS ainda pode ser dividida em compartimentos lábeis (carbono lábil – CL) e não lábeis (carbono não lábil – CNL).

O CL representa uma fração de plena atividade biológica da MO, é constituído de compostos orgânicos não estáveis, sendo facilmente mineralizados no solo, estando intimamente ligado à liberação de CO₂ para a atmosfera. Nessa fração, os teores de C apresentam maiores amplitude de variação, fato

relacionado à alta sensibilidade às perturbações no ambiente (POWLSON *et al.*, 1987), sendo, portanto, uma variável de grande importância para avaliação dos impactos de sistemas de manejo sobre a qualidade do solo.

O carbono solúvel em água (CSA) é uma fração de carbono do solo de alta labilidade, a qual é constituinte da fração CL. Essa fração é resultado do processo inicial de decomposição do material orgânico, apresentando grande importância para a ciclagem de nutrientes (RANGEL *et al.*, 2008). Em função da sua grande sensibilidade, esta fração tem sido utilizada na avaliação do impacto de sistemas agrícolas sobre o solo (PORTUGAL *et al.*, 2008; PESSOA *et al.*, 2012).

O CNL refere-se ao compartimento mais estável, ou seja, composto por macromoléculas de maior recalcitrância (ZECH *et al.*, 1997). Por apresentar uma ciclagem lenta (consequência da estabilidade) essa fração contribui com inúmeras funções para a qualidade do solo, atuando como reservatório de nutrientes e estabilização química dos microagregados do solo, entre outras. Em contrapartida, a fração lábil possui elevada taxa de decomposição, permanecendo por pouco tempo no solo, sendo essa fração o principal combustível para a atividade biológica do solo (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Essas frações da MOS permitem calcular índices que traduzem o impacto de usos e práticas de manejo sobre os teores e qualidade da matéria orgânica, indicando a sustentabilidade dessas ações (BLAIR *et al.*, 1995; CAMPOS *et al.*, 2013).

Dessa forma, a determinação da distribuição dessas frações no solo, é um bom indicador da qualidade da matéria orgânica (PORTUGAL *et al.*, 2008), e conseqüentemente da qualidade do solo.

Para Moreira e Siqueira (2006) a matéria orgânica é o melhor indicador de qualidade do solo, contribuindo grandemente na manutenção e estabilidade

das propriedades físicas, químicas e biológicas, além da manutenção e equilíbrio dos processos edáficos.

2.2 Importância da matéria orgânica no solo

A matéria orgânica é o principal agente condicionador das características químicas, físicas e biológicas do solo, influenciando em propriedades tais como: poder tampão, capacidade de trocas de cátions, complexação de metais pesados e micronutrientes, agregação do solo, aeração, densidade, capacidade de retenção de água, infiltração de água, além de ser o combustível para as atividades biológicas do solo (BAYER e MIELNICZUK, 2008).

As SH possuem uma estrutura complexa e muito ativa, apresentando uma gama de grupamentos funcionais, os quais conferem a essas substâncias, a capacidade de influenciar as inúmeras propriedades do solo. Essa influência pode variar em função do tipo de solo, como em função da qualidade da matéria orgânica, ou seja, a proporção e quantidade dos AF, AH e HUM (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Avaliando o poder tampão de solos de Cerrado com diferentes texturas, Mendonça *et al.*(2006) observaram uma alta correlação (99%) com o teor de matéria orgânica do solo. Segundo este autor, os ácidos fúlvicos tem mostrado maior importância na contribuição do poder tampão dos solos argilosos e textura média, já nos solos de textura arenosa, os ácidos fúlvicos e ácidos húmicos têm mostrado a mesma importância.

A alta concentração de grupamentos funcionais nas substâncias húmicas, principalmente ácidos fúlvicos e húmicos, confere a essa uma alta capacidade de troca de cátions (CTC), que pode ser medida a pH normal (CTC efetiva), e a pH 7 (CTC potencial – que pode representar também o poder tampão do solo) (NOVAIS *et al.*, 2007).

Solos com maiores teores de matéria orgânica, como de mata nativa, possuem maior quantidade de cargas negativas, levando conseqüentemente a maiores valores de CTC efetiva e potencial (PORTUGAL *et al.*, 2010a; SILVA *et al.*, 2013). Sendo a fração AF a que apresenta maior potencial para gerar cargas, com desenvolvimento de carga em Latossolos brasileiros de 1,27 a 2,15 vezes maior do que a fração AH, sendo um indicativo da hidrofilicidade dos AF (MENDONÇA *et al.*, 2006; DOBBSS *et al.*, 2009)

As SH formam complexos com elementos tóxicos, diminuindo a toxidez para as plantas, como também formam quelatos com micronutrientes favorecendo a sua mobilidade no solo, e sua disponibilidade (BAYER e MIELNICZUK, 2008), com maior mobilidade dos complexos formados por ácidos fúlvicos. Para micronutrientes catiônicos como o Cu e Fe, a mobilidade pelo fluxo difusivo (FD) é proporcional à quantidade de resíduo vegetal no solo e inversamente à dose de corretivo de acidez. O resíduo vegetal minimiza o efeito redutor da calagem no FD de Zn, Cu, Fe e Mn, aumentando a biodisponibilidade desses nutrientes (PEGORARO *et al.*, 2006).

A estrutura do solo pode ser definida como o arranjo das partículas primárias do solo, ou seja, das frações argila, silte e areia, que formam as partículas secundárias ou agregadas, onde a matéria orgânica tem papel fundamental nesse processo (CORRÊA *et al.*, 2009). As substâncias húmicas com seu grande número de radicais orgânicos interagem de forma distinta com superfície do mineral do solo, contribuindo grandemente na formação e estabilização dos agregados (SILVA e MENDONÇA, 2007). Essa contribuição dos maiores teores de matéria orgânica para agregação do solo sob mata é destacada por vários autores (BERTOL *et al.*, 2004; ARATANI *et al.*, 2009; ASSIS e LANÇAS, 2010; PORTUGAL *et al.*, 2010b).

A MO tem a capacidade de reter até 20 vezes a sua massa em água (SILVA e MENDONÇA, 2007), fazendo com que o seu aumento no solo

favoreça o aumento na retenção de água (DALMAGO *et al.*, 2009; PERES *et al.*, 2010). A MO favorece os melhores valores de densidade e porosidade, sendo facilmente observado em ambiente não perturbado (CARNEIRO *et al.*, 2009, PORTUGAL *et al.*, 2010b; SILVA *et al.*, 2013).

A MO tem a capacidade de reter nutrientes, como o potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), atua como reservatório de nitrogênio (N), fósforo (P) enxofre (S) e boro (B), sendo capaz de suprir parte das necessidades da cultura durante seu ciclo (BOT e BENITES, 2005). Segundo Cantarella *et al.* (2008), mais de 90 % do N do solo encontra-se no compartimento orgânico, o que torna inevitável a associação de sua disponibilidade com o teor de MOS. Esse nutriente encontra-se estocado principalmente nas SH (SILVA e MENDONÇA, 2007), sendo avaliado frequentemente o seu estoque nas frações AF, AH e HUM (PEGORARO *et al.*, 2010; PEGORARO *et al.*, 2011; MAIA *et al.*, 2008; SANTANA *et al.*, 2013).

Entre as diversas funções da matéria orgânica, ressalta-se a sua importância para manutenção da atividade biológica (BAYER e MIELNICZUK, 2008), e redução da adsorção do fósforo nos solos tropicais, os quais são fortes drenos de fósforo (NOVAIS *et al.*, 2007). Segundo esses autores, as SH ligam-se aos óxidos e minerais 1:1 ocupando os sítios de adsorção de fósforo. Dessa forma, o teor de matéria orgânica correlaciona-se inversamente com esta adsorção (MOREIRA *et al.*, 2006).

Diante das inúmeras funções no solo, a MO é um dos principais focos de estudo para a avaliação da qualidade do solo, devido aos diferentes graus de comprometimento, conforme o sistema de manejo adotado.

2.3 Sistemas de Manejo do Solo

O primeiro metro de solo armazena duas vezes mais C que o presente na atmosfera (LAL, 2002), fazendo do solo um dos principais condicionadores da poluição do ar, visto que a estocagem de C regula a emissão desse elemento para a atmosfera (RANGEL e SILVA, 2007).

Com o desmatamento das áreas para uso agrícola, o solo fica exposto à ação direta do clima, tornando-se mais frágil fisicamente (PORTUGAL *et al.*, 2008). Sendo que, a forma de uso e manejo influencia diferentemente os processos físicos, químicos e biológicos do solo, promovendo modificações em suas propriedades, com frequente redução nos teores de matéria orgânica (RANGEL e SILVA, 2007; CARNEIRO *et al.*, 2009; PORTUGAL *et al.*, 2010a;). Esta conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS (ZINN *et al.*, 2005).

As modificações que ocorrem nas propriedades físicas e químicas do solo variam com os sistemas de manejo do solo, podendo ocorrer melhorias em certas propriedades do mesmo, ou aceleração do processo de degradação (COSTA *et al.*, 2006; CARNEIRO *et al.*, 2009).

Os Latossolos são solos altamente intemperizados, apresentando elevada acidez e baixa fertilidade (NOVAIS *et al.*, 2007). Com a implantação da atividade agrícola, conseqüentemente, ocorre a redução dos teores de matéria orgânica e impacto sobre diversos outros atributos. Entretanto, devido às correções e intensas adubações utilizadas para produção agrícola, há um aumento nos teores de nutrientes do solo, bem como de valores de pH na faixa ideal (CARNEIRO *et al.*, 2009; CAMPOS *et al.*, 2011).

Com o intuito de reduzir os problemas de degradação do solo, sistemas de preparo conservacionistas, como semeadura direta (plantio direto) e cultivo

mínimo com escarificação têm sido amplamente utilizados (MAZURANA *et al.*, 2011). Essas práticas de manejo conservacionista do solo focalizam, principalmente, a manutenção e a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados, e sua influência no rendimento das culturas (ARGENTON *et al.*, 2005), sendo o plantio direto promotor de melhorias nas propriedades do solo, ao contrário do preparo convencional, geralmente degradante (COSTA *et al.*, 2003).

A região do semiárido brasileiro apresenta altos índices de temperatura e luminosidade, baixa umidade relativa do ar, além de um insuficiente e irregular regime pluviométrico, onde a atividade agrícola é mantida por meio da irrigação, sem a qual não há viabilidade econômica (SANTOS, 2010).

Sob tais condições, sistemas de manejo inadequados, com baixo aporte de biomassa associado ao intenso revolvimento do solo, provocam acentuada redução da matéria orgânica do solo (SACRAMENTO *et al.*, 2013), levando a grave redução de sua qualidade e capacidade produtiva (CORRÊA *et al.*, 2010).

Moussa-Machraoui *et al.* (2013), estudando o efeito dos sistemas de manejo, preparo convencional e plantio direto sob as condições semiárido do noroeste da Tunísia, verificaram que em 4 anos de implantação do sistema de plantio direto contribuiu para melhoria da qualidade do solo, favorecendo ou aumentando a CTC, estocagem de C e macronutriente do solo, em relação ao solo sob sistema de preparo convencional.

No entanto, são poucos trabalhos na literatura, que avaliem a influência dos sistemas de plantio direto e preparo convencional sobre a estocagem de carbono e qualidade do solo na região do semiárido brasileiro.

2.3.1 Sistema de Preparo Convencional do Solo

No sistema de preparo convencional do solo, o revolvimento das camadas superficiais, reduz a compactação superficial, aumenta a porosidade do solo, elevando a permeabilidade, além de permitir a incorporação de corretivos e fertilizantes (BERTOL *et al.*, 2000; BRAUNACK e DEXTER, 1989; SANTIAGO e ROSSETTO, 2012). Todavia, tem provocado a degradação da estrutura do solo, promovendo a pulverização dos horizontes superficiais e compactação dos horizontes subsuperficiais (ASSIS e LANÇAS, 2010).

O sistema de preparo convencional rompe os agregados e reduz sua estabilidade nas camadas manejadas, expondo, conseqüentemente, a matéria orgânica protegida e aumentando a aeração, o que favorece a intensificação da atividade microbiana, levando a conseqüente redução dos teores de MO do solo (FLORES *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2011), que é sinônimo de redução de estoque de C e de N, já que estes são constituintes fundamentais da MO.

Campos *et al.* (2013) estudando os efeitos de sistemas de manejo do solo sobre os estoques e as frações de carbono orgânico de um Latossolo Amarelo, no cerrado do Piauí, verificaram menores valores de estoque de C e N, bem como menores teores das frações AF, AH e HUM no solo sob sistema de preparo convencional, mostrando o impacto deste sistema de manejo sobre a MO. O uso de insumos no preparo convencional tem promovido melhores teores de nutrientes para esse sistema em relação ao campo nativo, no entanto, os teores são inferiores daqueles observados no sistema de plantio direto (CAMPOS *et al.*, 2011).

Leite *et al.* (2013) trabalhando com diferentes sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado Maranhense, constataram que no sistema onde ocorre maior revolvimento, os teores de P, K, Ca e Mg foram maiores que no campo nativo, e menores que no sistema sem revolvimento. No entanto, os teores de

matéria orgânica no solo, assim como o estoque na fração lábil, foram inferiores a todos os sistemas.

2.3.2 Sistema Plantio Direto

A área cultivada sob sistema de plantio direto tem aumentado rapidamente no Brasil, sendo que a área plantada sob esse sistema na safra 1990/1991 foi de 1 milhão de hectares, e na safra 2011/2012 a área se aproximou a quase 32 milhões de hectares, mostrando um crescimento exponencial, como pode ser observado na Figura1 (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP, 2012).

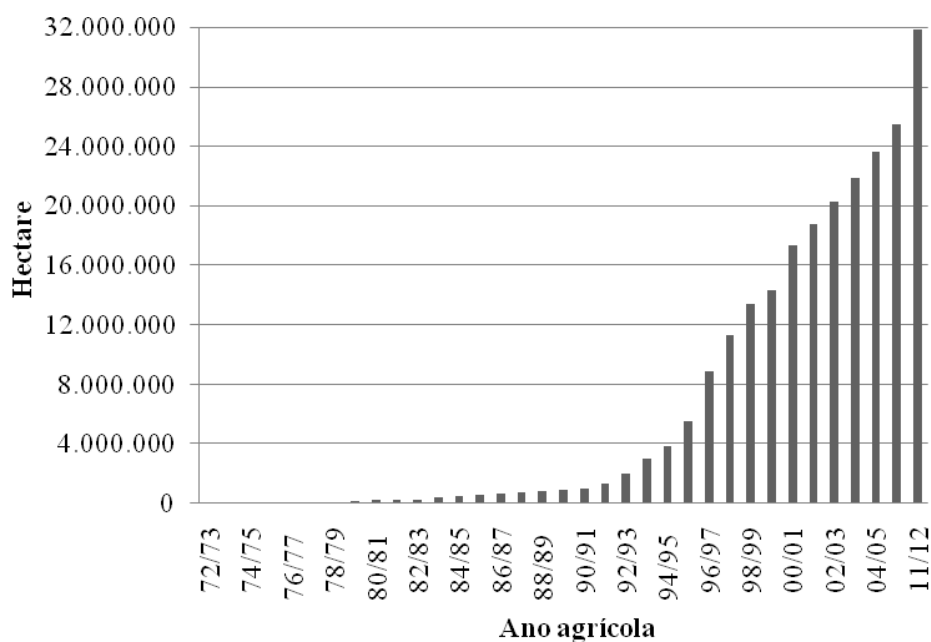


FIGURA 1. Crescimento da área plantada sob plantio direto.
Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2012.

No sistema de plantio direto, a cobertura vegetal na superfície do solo confere maior proteção contra a ação da chuva, amortecendo a energia de impacto das gotas, reduzindo a destruição dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. Essa cobertura aumenta a rugosidade hidráulica do percurso, reduzindo o escoamento superficial (PRUSKI, 2009). A produção de grãos como a soja, é favorecida pela recuperação das formas lábeis de C, com o aumento do seu estoque no solo (SÁ *et al.*, 2014).

Com a decomposição da cobertura vegetal, ocorre um acúmulo de matéria orgânica bem como o aumento do teor de C orgânico total (LOVATO *et al.*, 2004), esse aumento do teor de matéria orgânica do solo favorece a melhoria da estabilidade da estrutura do solo, pelo efeito sobre a formação e manutenção dos agregados, atuando como agente cimentante, bem como promove a melhoria das propriedades químicas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005; SALTON *et al.*, 2008).

A manutenção da cobertura sobre o solo permite uma constata atividade biológica com conseqüente equilíbrio entre as frações da MO, e, associado à proteção física da MO pelos argilominerais do solo (o que é favorecido pelo não revolvimento), favorece um maior acúmulo de carbono em todas as frações, e em especial nas frações mais lábeis (LEITE *et al.*, 2013). A fração lábil, por ser a mais sensível a mudança de manejo, tem sido estudada para avaliar o impacto do sistema de manejo sobre a matéria orgânica e qualidade do solo (PORTUGAL *et al.*, 2008).

Esse aumento nos teores de MOS nos sistemas agrícolas que presam o menor revolvimento do solo, tem favorecido à melhoria de inúmeras propriedades: aumento da CTC (SILVA *et al.*, 2013), dos teores de nutrientes do solo (BOT e BENITES, 2005), do poder tampão (MENDONÇA *et al.*, 2006), da mobilidade de micronutrientes no solo (PEGORARO *et al.*, 2006), da agregação do solo (PORTUGAL *et al.*, 2010b), da capacidade de retenção de água (PERES

et al., 2010), entre outras propriedades. Além de tudo, esse aumento da MOS é sinônimo de aumento do estoque de carbono (PEGORARO *et al.*, 2010), e consequente sequestro de CO₂, um dos principais gases causadores do efeito estufa.

2.4 Coberturas Vegetais

Os sistemas de manejo do solo, associados à rotação de culturas e plantas de cobertura, promovem alterações significativas na dinâmica da MOS (LOSS *et al.*, 2009).

A rotação de culturas, em especial no sistema de plantio direto, é fundamental para o manejo físico, químico e biológico do solo. Esse sistema tem sido adotado para manter palhada suficiente na superfície do solo, aumentar ou manter teores de matéria orgânica, criar poros biológicos e melhorar as condições do solo (ANDRADE *et al.*, 2009). Com a decomposição das raízes das plantas de cobertura, canais são deixados no solo, aumentando a porosidade, favorecendo consequentemente à infiltração de água no solo, podendo ser 20 a 60 % superior ao sistema convencional de preparo, variando conforme o tipo de solo, estrutura e sequência de culturas (MEDEIROS e CALEGARI, 2007).

As diferentes espécies vegetais utilizadas nos sistemas de rotação ou sucessão de culturas promovem diferentes respostas na qualidade do solo, podendo essa variação estar relacionada à qualidade do material orgânico sintetizado pelas raízes das diversas culturas ou na configuração das raízes, especialmente na proporção das raízes laterais (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

Com grande potencial para a sucessão de culturas no semiárido, o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), de origem africana, pertencente à família Poaceae, possui alta produção de biomassa e tolerância à seca, vinculadas a um sistema radicular formado principalmente por raízes secundárias muito

ramificadas, superando facilmente o milho e atingindo 1,5 m de profundidade e 2 m de extensão lateral, com 80% das raízes localizadas nos primeiros 30 cm de profundidade (EMBRAPA, 2006).

O milho (*Zeamays* L.) é uma das culturas mais cultivadas no Brasil, sendo responsável por grande parte do agronegócio brasileiro. Essa cultura, também pertencente à família Poaceae, possui sistema radicular semelhante ao do sorgo, porém apresentando uma menor proporção de raízes secundárias, e alcança profundidades menores, de até 60 cm, e em alguns casos 100 cm, onde a maioria das raízes encontra-se nos primeiros 30 cm (EMBRAPA, 2009).

O girassol (*Helianthusannuus* L.) é uma dicotiledônea anual, pertencente à família Asteraceae. O seu cultivo tem crescido muito, devido à sua importância como planta ornamental, na alimentação animal e na produção de óleo. Essa planta possui sistema radicular pivotante, podendo chegar a até 4 m de profundidade em solos arenosos. Na parte superior da raiz principal cresce grande número de raízes laterais, sendo que parte delas cresce no começo, paralelamente à superfície do solo, até uma distância de 10 a 20 cm da raiz principal, depois se aprofundando e outra parte cresce exclusivamente no sentido horizontal, formando uma espessa rede de radicelas, a uma profundidade de 10 a 30 cm. Em torno de 65% das raízes funcionais se encontram nos primeiros 40 cm (ROSSI, 1998).

O cultivo de grãos como o milho, sorgo e girassol, associado à utilização de plantas de cobertura do solo, como leguminosas no inverno para adubação verde, pode elevar o teor de MOS (SANTOS *et al.*, 2008) e recuperar o estoque de carbono e nitrogênio, atingindo taxas de 2,23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de CO e 0,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de NT na cultura do milho, superando o cultivo isolado (BAYER *et al.*, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi implantado no Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situado no Projeto Gorutuba, Nova Porteirinha, Minas Gerais (latitude 15°45'01 S, longitude 43°17'29 W e altitude 524,0 m). Os valores anuais dos elementos do clima são: precipitação: 650 - 1000 mm, média de temperatura máxima: 26 - 28 °C e umidade relativa média do ar: 65 % (RESENDE, *et al.*, 1969). A precipitação e a temperatura média mensal do período experimental são observadas na Figura 2.

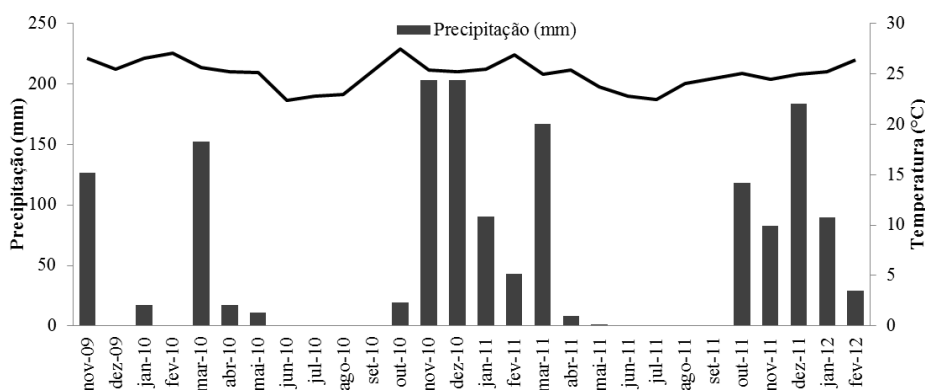


FIGURA 2. Precipitação e temperatura média mensal, do período de implantação à avaliação do estudo.

Segundo a classificação de Köppen, o clima típico é o Aw, isto é, de savana com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C. O solo representativo do local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média (RESENDE *et al.*, 1969). A análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) da camada de 0,00 a 0,20 m resultou em teores médios de 120 g kg⁻¹ de areia grossa (2 a 0,2 mm), 370 g kg⁻¹ de areia fina

(0,2 a 0,053 mm), 210 g kg⁻¹ de silte e 300 g kg⁻¹ de argila, e na camada de 0,20 a 0,40 m teores de 118 g kg⁻¹ de areia grossa, 372 g kg⁻¹ de areia fina, 215 g kg⁻¹ de silte e 295 g kg⁻¹ de argila. Os resultados da análise química da camada de solo de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m antes da implantação do estudo, podem ser observados na Tabela 1.

TABELA 1. Atributos químicos da camada de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade do Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, antes da implantação do estudo.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn	
	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol dm ⁻³	cmol dm ⁻³	cmol dm ⁻³	cmol dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	
(1)	6,0	1,6	34,2	265,6	4,0	1,0	0,0	1,6	5,6	5,6	7,3	77,6	0,0	0,8	13,8	17,0	5,3
(2)	6,1	0,7	5,0	147,9	3,1	1,3	0,2	1,7	4,8	5,0	6,5	73,8	4,2	0,9	10,2	6,2	0,7

1: Camada de solo de 0,00 a 0,20 m; 2: camada de solo de 0,20 a 0,40m.

No estudo foram adotados seis tratamentos mais uma testemunha que corresponderam a: T1: SPD, sucessão milho-pousio-feijão-pousio (PDM); T2: SPD, sucessão sorgo-pousio-feijão-pousio (PDS); T3: SPD, sucessão girassol-pousio-feijão-pousio (PDG); T4: SPC, sucessão milho-pousio-feijão-pousio (PCM); T5: SPC, sucessão sorgo-pousio-feijão-pousio (PCS); T6: SPC, sucessão girassol-pousio-feijão-pousio (PCG); testemunha: atribuída ao solo da mata nativa (MN), localizada a 60 m dos cultivos agrícolas. No primeiro ano as três espécies (milho, sorgo e girassol) foram cultivadas no verão-outono em consórcio com *Brachiaria decumbens* para maior produção de cobertura vegetal. No inverno-primavera, foi cultivado feijão jalo rajado em todos os tratamentos.

Os tratamentos foram implantados em novembro de 2009 com parcelas de 18 x 18 m (324 m²), distanciadas 12 m entre si, para permitir livre manobra das máquinas. Nos SPC, o preparo do solo foi com arado de discos seguido por uma gradagem leve, sendo todos os restos culturais remanescentes incorporados,

e a semeadura realizada com uma semeadora pneumática, a qual também foi utilizada no SPD, em cada cultivo. A irrigação foi realizada por meio da aspersão convencional. As principais informações relacionadas ao uso, manejo dos solos e a produtividade de feijão obtidas nos cultivos antecedente à avaliação do estudo foram descritas na Tabela 2.

Historicamente, nos últimos 25 anos antes da implantação, a área foi cultivada alternadamente com milho e sorgo, intercalados com pousio, sendo que nos últimos 4 anos antes da implantação (2004 a 2008) a área encontrava-se em pousio, sendo o capim coloniã a espécie predominante. A mata nativa (MN) apresentava um mínimo de 40 anos sem qualquer ação antrópica, caracterizada como Floresta Estacional Decidual, conhecida como “mata seca”.

TABELA 2. Uso e manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média e produtividade de feijão obtida sob sistemas de: preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM).

Sistemas de Manejo	Período de condução	Rotação de cultivos	Dose de NPK (kg ha ⁻¹ cultivo ⁻¹)	Produtividade de feijão (kg ha ⁻¹)
PCS	2009/10 a 2012/03	F-S	300	2915,36
PCG	2009/10 a 2012/03	F-G	300	2899,417
PCM	2009/10 a 2012/03	F-M	400	3007,147
PDS	2009/10 a 2012/03	F-S	300	2818,538
PDG	2009/10 a 2012/03	F-G	300	2868,018
PDM	2009/10 a 2012/03	F-M	400	3169,923

F: feijão, S: sorgo, G: girassol, M: milho, NC: necessidade da cultura, NPK: 8:28:16.

Dois anos e três meses após a implantação do estudo foi feita a coleta das amostras de solo. A amostragem foi realizada em quatro trincheiras localizadas em quadrantes, consideradas como repetições. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0,00 a 0,05, 0,05 a

0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, para avaliação dos teores e estoques de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total (NT), densidade do solo (Ds), determinação de índices de manejo de carbono e humificação.

No momento das coletas também foram avaliadas a massa seca (MS) de cobertura morta, com gabarito de 0,5 x 0,5 m para amostragem dos resíduos na superfície do solo da parcela, coletado ao lado da trincheira, apenas nos cultivos sob plantio direto, visto que, nos sistemas em preparo convencional não havia resíduos na superfície do solo, em virtude do seu revolvimento e incorporação. Após amostragem, os resíduos foram secos em estufa de ventilação forçada a 65°C por 24 h, pesados e os resultados estimados em t ha⁻¹.

Os teores de C orgânico total do solo (COT) e NT foram determinados conforme Yeomans e Bremner (1988) e por destilação Kjeldhal (BREMNER, 1996), respectivamente (a partir dos quais determinou-se a relação C/N); o teor de C orgânico lábil (CL) foi estimado de acordo com Blair *et al.* (1995) e o teor de C não-lábil (CNL) foi estimado por diferença entre o COT e o CL (CNL= COT-CL). O fracionamento químico das substâncias húmicas (SH) foi realizado segundo a técnica da solubilidade diferencial, separando-se as frações: ácido fúlvico (FAF), ácido húmico (FAH) e humina (HUM) (SWIFT, 1996). O carbono solúvel em água (CSA) foi obtido pelo método descrito por Mendonça e Matos (2005), realizando a extração com água destilada na proporção solo: água de 1:2, e determinado por colorimetria, conforme Bartlette Ross (1988).

Determinou-se a Ds pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), a qual foi utilizada para o cálculo dos estoques corrigidos, segundo Sisti *et al.* (2004), de COT, NT e das frações: CL, CNL, FAF, FAH, FH e SH da MOS, para as camadas de solo: 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m.

Por meio das relações entre os estoques de carbono nas frações da MOS foram estimados os seguintes índices: IH - índice de humificação ($SH/COT \times 100$); GP - grau de polimerização ($C-FAH/C-FAF$); EA/FH - relação entre extrato alcalino (FAF+FAH) e fração húmica (JOURAIPHY *et al.*, 2005); ICC - índice de compartimento de carbono ($ICC = COT \text{ cultivado}/COT \text{ mata}$); L - labilidade ($L = CL/CNL$); IL - índice de labilidade ($IL = L \text{ cultivado}/L \text{ mata}$) e IMC - índice de manejo de carbono obtido pela expressão: $IMC = ICC \times IL \times 100$ (BLAIR *et al.*, 1995). Com o intuito de caracterizar o incremento de COT e NT no solo foram subtraídos os estoques de COT e NT obtidos nos solos dos cultivos agrícolas sob plantio direto daqueles cultivados no sistema de preparo convencional.

Na análise dos dados, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. Os efeitos dos tratamentos de uso do solo sobre as suas propriedades foram comparados por meio de análise de variância e as médias foram diferenciadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os tratamentos foram analisados de modo separado em cada profundidade de amostragem (camadas de solo).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção de distintos sistemas de cultivo implicou em alterações na deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e nos estoques de C e N nas frações da MOS no semiárido (TABELA 3).

Na profundidade 0,00 a 0,05 m, apenas para a relação C/N não ocorreu diferença entre os sistemas de cultivo. Comportamento similar foi observado na profundidade 0,05 a 0,10 m para os teores de C, N e das frações da matéria orgânica, enquanto que, para os estoques de COT, CL e CNL, observou-se diferença entre os sistemas de manejo. De modo geral, os teores e estoques de COT, NT e das frações da MOS seguiram resultados estatísticos semelhantes entre os tratamentos estudados (TABELA 3).

Houve diferença entre os cultivos para estoque de COT, CSA, CL CNL e nas frações das SH para as camadas 0,10 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de solo (TABELA 3). Entretanto, na profundidade de 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m não houve diferença entre os tratamentos para C/N, Ds, teores e estoque de nitrogênio total (NT), e na profundidade de 0,10 a 0,20 m para o estoque de CNL. Na camada de solo mais profunda (0,20 a 0,40 m), não houve efeito dos cultivos nos estoques de COT, carbono nas frações CL, CSA e FAF, indicando redução da influência dos sistemas de manejo sobre os atributos avaliados com aumento da profundidade do solo.

TABELA 3. Resumo das análises de variância para os teores e estoques de COT, NT e nas frações da MOS de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, submetido aos distintos sistemas de cultivo: preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN), para as camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade do solo.

FV	Atributos										
	NT	COT	CSA	CL	CNL	FAF	FAH	FH	SH	C/N	Ds
	Teores										
	0,00 a 0,05m										
Tratamentos	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**
CV (%)	9,32	6,81	6,12	16,98	7,76	7,32	7,80	5,81	5,43	15,37	10,9
	0,05 a 0,10 m										
Tratamentos	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**
CV (%)	11,82	5,78	8,41	21,29	7,45	12,11	10,31	5,37	5,86	10,19	9,3
	0,10 a 0,20m										
Tratamentos	ns	**	**	**	*	**	**	**	**	ns	ns
CV (%)	19,19	9,64	10,86	32,61	10,89	15,49	17,91	9,26	8,57	16,83	35,12
	0,20 a 0,40m										
Tratamentos	ns	*	ns	ns	*	ns	**	**	**	ns	ns
CV (%)	14,87	9,04	22,61	11,78	10,36	20,35	56,92	10,62	9,06	17,40	19,51
	Estoques										
	0,00 a 0,05m										
Tratamentos	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	-
CV (%)	11,02	9,16	8,12	16,72	10,26	8,72	10,62	8,61	7,62	-	-
	0,05 a 0,10 m										
Tratamentos	**	*	**	*	*	**	**	**	**	-	-
CV (%)	15,70	15,55	17,74	28,38	15,51	19,67	19,23	14,86	15,03	-	-
	0,10 a 0,20m										
Tratamentos	ns	ns	**	**	ns	**	**	*	**	-	-
CV (%)	20,43	16,21	17,90	31,77	17,74	22,14	20,62	14,82	14,84	-	-
	0,20 a 0,40m										
Tratamentos	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**	**	-	-
CV (%)	16,68	16,41	35,54	13,97	19,60	22,67	44,78	14,41	12,48	-	-
	0,00 a 0,20 m										
Tratamentos	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
CV (%)	13,50	13,13	12,45	19,34	13,78	16,12	12,87	11,41	11,36		
	0,00 a 0,40 m										
Tratamentos	**	*	*	**	*	**	**	**	**		
CV (%)	12,92	13,81	17,76	12,91	15,50	16,44	15,74	10,88	10,74		

NT: nitrogênio Total; COT: carbono orgânico total; CL: carbono lábil; CNL: carbono não lábil; FAF: fração ácido fúlvico; FAH: fração ácido húmico; FH: fração húmica; SH: substância húmicas; C/N: relação carbono/nitrogênio; Ds: densidade do solo. *: Significativo 5 % (p < 0,05); **: Significativo a 1 % (p < 0,01); ns: Não significativo (p > 0,05) pelo teste F.

A Ds na camada de 0,00 a 0,05 m foi maior nos cultivos sob os sistemas plantio direto (PD) (PDS, PSG e PDM), seguido dos sistemas com preparo convencional (PC) (PCS, PCG e PCM), e a MN com menor densidade (TABELA 4), indicando a compactação superficial do solo nos sistemas PD. Na profundidade de 0,05 a 0,10 m as densidades não diferiram entre os sistemas, e foram superiores a da MN (TABELA 4). Nas demais camadas (0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m) não houve diferença entre as densidades do solo dos cultivos.

TABELA 4. Densidades (Ds) médias nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM) e mata nativa (MN).

Profundidade (m)	Usos						
	PCS	PCG	PCM	PDS	PDG	PDM	MN
0,00 a 0,05	1,56b	1,57b	1,56b	1,67a	1,69a	1,66a	1,22c
0,05 a 0,10	1,70a	1,69a	1,66a	1,72a	1,72a	1,70a	1,43b
0,10 a 0,20	1,69a	1,78a	1,73a	1,70a	1,71a	1,66a	1,56a
0,20a 0,40	1,68a	1,72a	1,67a	1,64a	1,69a	1,61a	1,59a

Letras iguais, dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

A maior compactação superficial no plantio direto resultou do tráfego de máquinas sobre a área, sem revolvimento periódico e em condições de umidade próxima da faixa de plasticidade, causando deformações maiores que no preparo convencional, com movimentação da camada superficial do solo. A densidade acima da MN resulta do arranjo face a face das partículas em função do silte e da pulverização inicial do solo. Na camada imediatamente inferior, houve

homogeneização da deformação estrutural do solo, tornando o plantio direto e preparo convencional semelhante (MAZURANA *et al.*, 2011).

4.1 Teores e estoques de COT e NT no solo dos cultivos agrícolas

Os teores de COT no solo cultivado com milho e sorgo sob PD (PDM e PDS, respectivamente) foram maiores que no solo cultivado com girassol (PDG), e foram superiores aos teores de COT obtidos no solo dos cultivos do sistema de preparo convencional (PCS, PCG e PCM, respectivamente), na camada de 0,00 a 0,05 m de profundidade (TABELA 5), no entanto, em comparação ao solo da mata nativa (MN), todos os sistemas de cultivo apresentaram menores teores de COT.

TABELA 5. Teores médios de nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).

	NT	COT	NT	COT	NT	COT	NT	COT
g kg ⁻¹								
	0,00 a 0,05 m		0,05 a 0,10 m		0,10 a 0,20 m		0,20 a 0,40 m	
PCS	1,03d	12,99d	0,97b	12,29d	0,80a	9,97b	0,69a	8,31b
PCG	0,91d	13,12d	1,01b	12,27d	0,89a	10,36b	0,77a	8,45b
PCM	0,92d	14,00d	1,02b	12,23d	0,86a	11,50b	0,70a	9,33b
PDS	1,32b	17,82b	0,92b	13,08c	0,97a	10,11b	0,74a	8,48b
PDG	1,18c	15,83c	1,08b	12,48d	0,87a	10,98b	0,76a	8,05b
PDM	1,50b	18,06b	1,19b	14,97b	1,03a	12,73a	0,78a	9,50b
MATA	1,91a	25,79a	1,56a	17,62a	1,20a	12,88a	0,89a	10,72a

Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Nessa camada, os maiores teores de COT observados nos cultivos do sistema com PD em relação ao PC, estão relacionados ao não revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos vegetais na sua superfície, os quais propiciaram a menor decomposição e maior alocação de carbono na camada superficial do solo (LOVATO *et al.*, 2004). No SPC o revolvimento do solo e incorporação dos resíduos vegetais pode intensificar a oxidação da MOS, reduzindo os teores de COT na camada superficial do solo (FLORES *et al.*, 2008, SÁ *et al.*, 2014).

Os menores teores de COT na superfície do solo sob PDS, PDG e PDM em comparação àquele de MN, é consequência do menor tempo de implantação do PD (2 anos e três meses) (ASSIS e LANÇAS, 2010). Entretanto, a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo correspondeu a 15,64; 16,39 e 16,9 t ha⁻¹ no cultivo de girassol, sorgo e milho, respectivamente, sendo superiores à deposição de 14,5 t ha⁻¹ na MN (SALES, 2012), indicando o maior potencial de deposição de resíduos nos solos agrícolas sob plantio direto no semiárido, com o aumento do tempo de cultivo, em comparação ao solo da “mata seca”.

Essa menor massa de cobertura morta observada na MN é consequência do grande período de estiagem na região, levando a um longo tempo sem produção de biomassa na MN, ao passo que nos sistemas cultivados a produção de biomassa ocorre o ano todo, resultando em maiores massas de cobertura sobre o solo. Já em regiões com maiores pluviosidade, segundo Guareschi *et al.* (2013) o acúmulo de resíduo vegetal no solo de MN é maior que nos sistemas cultivados.

Os teores de NT na camada superficial do solo (0,00 a 0,05 m) apresentaram comportamento estatístico similar ao obtido para o COT (TABELA 5). Isso ocorreu em consequência do caráter estrutural do N e C na MOS, estando estreitamente correlacionados, visto que, segundo Silva e Mendonça (2007) o N desempenha papel fundamental na estabilização do C na

MOS. Esse papel do N na estabilização da MOS foi observado por Moran *et al.* (2005), onde, ao avaliarem a importância do N mineral na estabilização da MOS em presença de palha de arroz, verificaram que uma maior quantidade de C do resíduo foi convertida em humina com a adição de ^{15}N mineral ($163\mu\text{g g}^{-1}$ de C).

Na camada de solo de 0,05 a 0,10 m de profundidade observou-se a redução da influência dos sistemas de manejo sobre os teores de COT e NT (TABELA 5). Os solos dos cultivos sob PC (PCS, PCG e PCM) e no PDG apresentaram menores teores de COT, em comparação àqueles sob PDS, PDM e mata nativa, respectivamente em ordem crescente de teores (TABELA 5). Segundo Sá *et al.* (2010), maiores massas de palhada no SPD contribuem com uma maior redução da evaporação da água do solo e da variação da temperatura, proporcionando condições favoráveis para o abundante desenvolvimento das raízes terciárias, as quais apresentam uma vida curta, além de alta sensibilidade a temperaturas maiores que $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esses mesmos autores observaram maior crescimento radicular de genótipos de milho nas camadas superficiais do solo, em SPD como maior massa de palha (10 Mg ha^{-1}). Silva (2007) verificou maior porcentagem e maior massa de raízes de feijão em sistema de plantio na palha em relação ao preparo convencional na camada de solo de 0,05 a 0,10 m. Dessa forma, as maiores massas de cobertura vegetal nos sistemas de PDS e PDM, associada ao denso sistema radicular natural das gramíneas (SANTOS *et al.*, 2008), nas condições semiáridas, contribuíram para maior estocagem de C pelas raízes nesses sistemas em um curto espaço de tempo. O PDM contribuiu com aporte de carbono em subsuperfície (camada de 0,10 a 0,20 m), apresentando teores COT superiores aos demais cultivos e igualando-se à MN. Já na profundidade 0,20 a 0,40 m, os teores de COT do solo nos diferentes sistemas de cultivos avaliados, não diferiram entre si, sendo, no entanto, inferiores àquele da MN. Essa maior contribuição das gramíneas para o aporte de carbono no solo foi também observado por Leite *et al.* (2013), ao avaliar a

dinâmica de carbono do solo sob monocultivos e consórcio de macaúba e pastagem.

Os teores de NT na camada de 0,05 a 0,10 m foram iguais entre os sistemas de cultivo, porém inferiores aos teores encontrados no solo da mata nativa. Nas demais profundidades não houve diferença estatística (TABELA 5). Com o aumento da profundidade do solo verificou-se redução da influência dos sistemas de manejo sobre os teores de C e N (FIGURA 3).

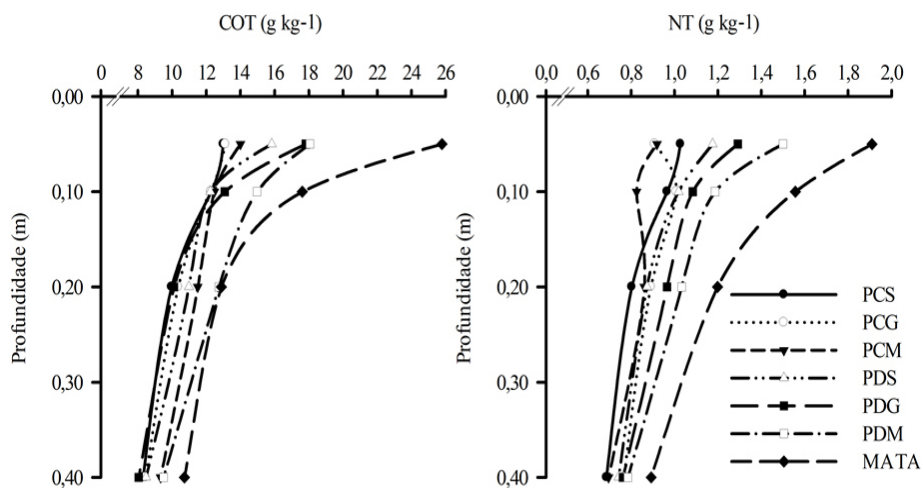


FIGURA 3. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas camadas 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).

O estoque de COT nas camadas de solo de 0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m de profundidade teve comportamento similar àqueles descritos para teores de COT, com maior armazenamento na MN, seguido do PD e PC na camada superficial (FIGURA 4).

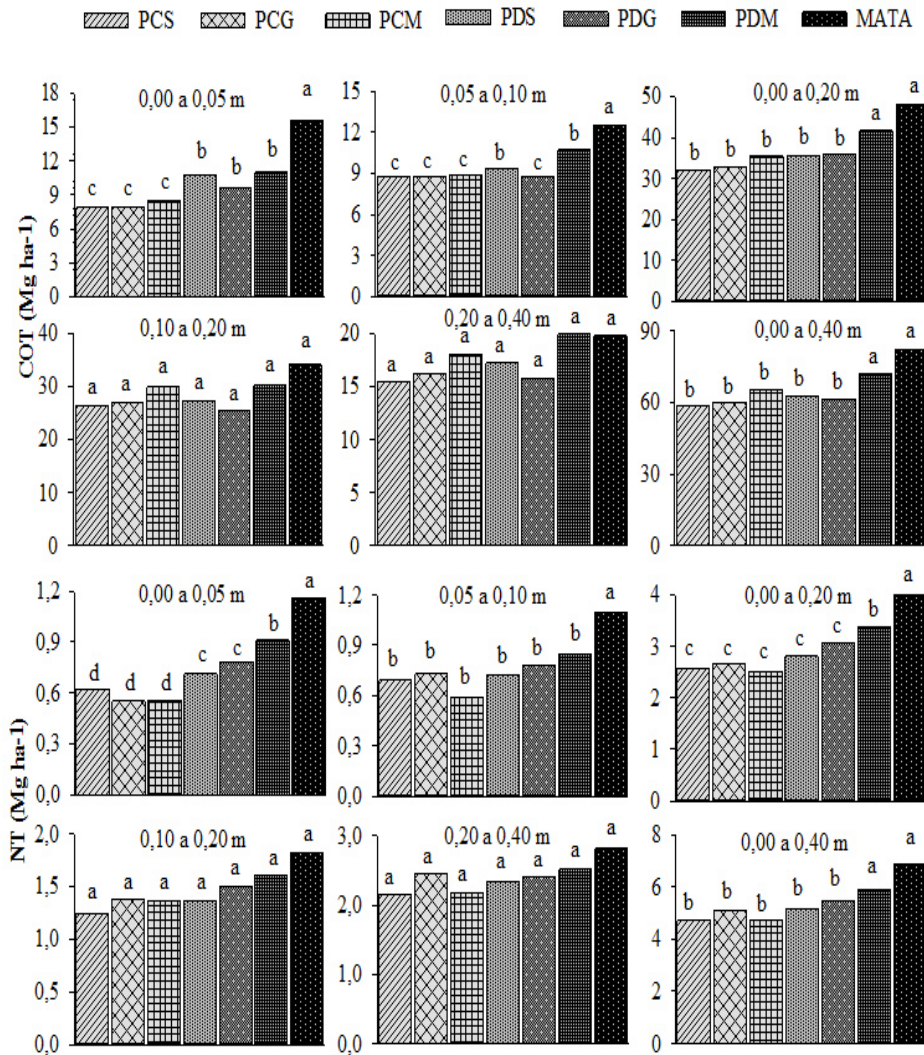


FIGURA 4. Estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade do Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN). Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Na camada de 0,05 a 0,10 m o estoque de COT no solo sob PDG se igualou àquele de PCG, e a partir de 0,10 m, não houve diferenciação em relação à MN. Estas diferenças são minimizadas quando se considera o somatório das camadas (0,00 a 0,20 m ou 0,00 a 0,40 cm), restando somente o PDM igual à MN (FIGURA 4).

O estoque de NT no solo seguiu comportamento semelhante ao observado para o COT nas camadas superficiais e no somatório das camadas (0,00 a 0,40 cm), ou seja, no solo cultivado com milho sob plantio direto obteve-se os maiores estoques de NT, comparáveis àqueles encontrados na mata nativa, considerando a profundidade de 0,00 a 0,40 m (FIGURA 4).

Dois anos e três meses após a implantação dos sistemas agrícolas, o incremento de COT nos solos (camada de 0,00 a 0,40 m) cultivados com milho, sorgo e girassol sob sistema PD foi de: 6,53; 4,05 e 3,10 Mg ha⁻¹, respectivamente, em comparação àquele sob PC. Na camada de 0,00 a 0,05 m o incremento de COT no solo sob PD foi de: 2,46; 2,85 e 1,73 Mg ha⁻¹, e na camada de 0,05 a 0,10 m obteve-se o incremento de: 1,79; 0,65 e -0,01 Mg ha⁻¹ (FIGURA 5).

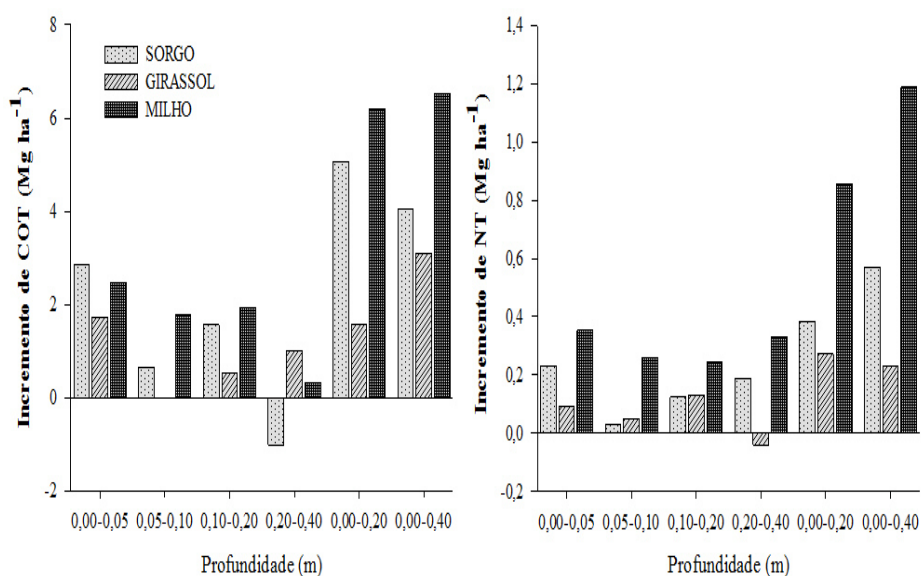


FIGURA 5. Incremento de carbono (COT) e nitrogênio (NT) nas camadas (0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade) do Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG) e milho (PDM) em comparação aos mesmos cultivos implantados no sistema de preparo convencional.

O incremento de NT no solo teve comportamento similar àquele observado para COT. Os cultivos com milho, sorgo e girassol sob plantio direto propiciaram o incremento de 1,19; 0,57, 0,23 Mg ha^{-1} , na camada de solo de 0,00 a 0,40 m de profundidade, e na camada superficial de 0,00 a 0,05 m a estocagem de NT correspondeu a 350, 230 e 90 kg ha^{-1} , respectivamente. Estes resultados indicam o maior potencial de estocagem de NT e COT para solos cultivados com gramíneas sob plantio direto no semiárido, em especial do milho, quando comparado ao cultivo com girassol e ao sistema de preparo convencional. A maior estocagem de NT nos cultivos com plantio direto também representa o aumento da reserva de N orgânico no solo, passivo de

mineralização e disponibilização das formas inorgânicas para as plantas cultivadas, visto que mais de 90 % do N do solo encontra-se na matéria orgânica (CANTARELLAS *et al.*, 2008). Já nas camadas de 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, não se observou diferença estatística para estoque de COT e NT no solo (FIGURA 4).

A maior estocagem de COT e NT no solo cultivado com milho sob PD está relacionada à maior produção e deposição de resíduos vegetais na superfície do solo nesse sistema, fazendo com que, a sua mineralização com a evolução do tempo, nas condições semiáridas, associada ao não revolvimento do solo, contribua com um maior aporte de carbono (AITA *et al.*, 2006). Tais resultados são respaldados por Sá *et al.* (2014), os quais avaliando a longo prazo, o efeito de sistemas de manejo sobre o estoque de carbono em Latossolo brasileiro, mostraram maior acúmulo de carbono no SPD, o qual foi favorecido pela maior quantidade de resíduo vegetal, associado ao maior tempo de implantação.

Com a adoção do sistema PD obteve-se o incremento médio relativo de 36 e 20 % de COT, em comparação ao estoque de COT obtido no solo com sistema PC, nas camadas de 0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m de profundidade, respectivamente, implicando, segundo SÁ *et al.* (2014) na melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, na redução da emissão de CO₂ atmosférico e do impacto ambiental pelo uso do solo.

4.2 Teores e estoques de carbono nas frações da matéria orgânica em cultivos sob sistema plantio direto e preparo convencional

Os teores de C nas frações lábeis (CL e CSA) da MOS foram maiores nos solos cultivados sob plantio direto (PDS, PDG e PDM) em comparação àqueles do preparo convencional, e iguais aos teores obtidos no solo de MN, para a camada de 0,00 a 0,05 m (TABELA 6).

TABELA 6. Teores médios de carbono solúvel em água (CSA), carbono lábil (CL), carbono não lábil (CNL), Fração ácido fúlvico (FAF), Fração ácido húmico (FAH), Fração humina (FH), Substância húmicas (SH) e Relação carbono/nitrogênio (C/N) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).

Trat.	CSA	CL	CNL	FAF	FAH	FH	SH	C/N
	-mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						
	0,00 a 0,05m							
PCS	191,29c	1,79b	11,21c	1,71d	1,49c	8,18d	11,38d	12,64
PCG	187,03c	1,56b	11,56c	1,71d	1,62c	8,41d	11,74d	14,85
PCM	190,36c	1,86b	12,14c	1,68d	1,52c	8,29d	11,49d	15,65
PDS	257,45b	3,01a	14,80b	2,04c	2,24b	11,37b	15,65b	13,50
PDG	255,42b	2,72a	13,11c	2,09c	2,23b	10,33c	14,64c	13,48
PDM	282,71b	2,95a	15,11b	2,41b	2,42b	11,64b	16,47b	12,04
MATA	337,04a	2,92a	22,86a	2,68a	3,54a	17,12a	23,34a	13,56
	0,05 a 0,10m							
PCS	166,07b	1,34b	10,94c	1,39c	1,17d	7,31c	9,86d	12,72
PCG	167,99b	1,40b	10,87c	1,48c	1,29d	7,28c	10,04d	12,26
PCM	173,88b	1,68b	10,55c	1,32c	1,34d	7,39c	10,05d	12,11
PDS	174,20b	1,45b	11,02c	1,87b	1,85c	7,52c	11,24c	14,22
PDG	177,82b	2,09a	10,99c	1,76b	1,66c	7,99c	11,41c	11,56
PDM	178,94b	1,85b	13,12b	1,64b	2,13b	8,88b	12,64b	12,66
MATA	257,00a	2,63a	14,98a	2,39a	3,12a	11,20a	16,71a	11,49
	0,10 a 0,20m							
PCS	120,24b	1,05b	8,92a	0,99b	0,98b	5,73b	7,70c	12,51
PCG	124,16b	1,06b	9,30a	1,11b	0,93b	6,35b	8,38c	11,80
PCM	126,02b	0,88b	10,62a	0,98b	1,06b	6,64b	8,68c	14,40
PDS	108,41b	0,81b	9,30a	1,25b	0,88b	6,28b	8,40c	10,56
PDG	105,47b	1,13b	9,85a	1,46a	0,93b	6,42b	8,81c	12,59
PDM	133,34b	1,50a	11,24a	1,28b	1,16b	7,63a	10,07b	12,35
MATA	176,28a	1,93a	10,95a	1,70a	2,13a	8,12a	11,95a	10,98
	0,20 a 0,40m							
PCS	51,84a	0,80a	7,51a	0,68a	0,33b	3,89b	4,89b	12,22
PCG	56,59a	0,76a	7,69a	0,74a	0,45b	4,69b	5,89b	11,04
PCM	55,87a	0,79a	8,53a	0,71a	0,37b	4,99b	6,07b	13,96
PDS	53,58a	0,84a	7,64a	0,77a	0,44b	4,43b	5,64b	11,84
PDG	48,87a	0,85a	7,20a	0,83a	0,50b	4,65b	5,98b	10,63
PDM	50,43a	0,83a	8,67a	0,71a	0,54b	4,99b	6,23b	12,22
MATA	61,15a	0,95a	9,77a	0,95a	1,33a	6,15a	8,43a	12,10

Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Tais resultados é consequência do acúmulo de palhada nos sistemas de plantio direto durante o ano todo, associada a manutenção de umidade do solo pela irrigação nas condições de altas temperaturas do semiárido, o que segundo Loss *et al.* (2013), favorece uma contínua atividade biológica e consequente decomposição de resíduos vegetais, aumentando os teores de MOS e contribuindo para o acúmulo e manutenção de carbono nas frações lábeis, fazendo com que, neste trabalho os sistemas sob plantio direto alcançassem valores semelhantes à mata nativa.

Resultados semelhantes foram observados por Schimiguel *et al.* (2014), avaliando a agregação do solo e o comportamento das formas lábeis de carbono em SPD e SPC, em rotação e sucessão de culturas. Os autores verificaram que os SPD aumentaram os teores das formas lábeis de carbono no solo (carbono em água quente e carbono lábil) nas camadas superficiais, equiparando-se à MN na camada de 0,00 a 0,05 m.

Na profundidade 0,05 a 0,10 m, apenas o PDG apresentou teores maiores que os demais, se igualando a MN, sendo que os demais não diferiram entre si. Na profundidade subsequente (0,10 a 0,20 m), o CL do solo sob PDM se igualou àquele do solo de MN, sendo superior aos demais sistemas, os quais não diferiram entre si (TABELA 6). E na maior profundidade (0,20 a 0,40 m), os teores de CL e CSA não diferiram entre os cultivos e foram inferiores aos teores observados nas camadas superficiais de solo.

O teor de CNL presente na profundidade de 0,00 a 0,05 m foram maiores nos cultivos PDS e PDM em comparação aos teores de CNL no solo dos demais sistemas de manejo, e inferiores àquele presente na MN (TABELA 6), indicando maior potencial para as gramíneas em recuperar carbono nas formas menos lábeis.

Na camada de 0,05 a 0,10 m, os teores de CNL sob PDM foram maiores que nos demais sistemas de manejo, sendo superado apenas pela MN. E, nas

profundidades subsequentes (0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m), não foram observadas diferenças entre os tratamentos. A recalcitrância da fração (CNL) retarda a decomposição do carbono no solo pelos microrganismos, aumentando a sua contribuição na formação da MOS (NOVAIS *et al.* 2007).

Os teores de carbono das substâncias húmicas (SH) na camada de 0,00 a 0,05 m seguiram o mesmo comportamento do COT (TABELA 6), onde os teores no solo de PDM e PDS, seguido do PDG foram maiores que os demais sistemas de cultivos, sendo superados apenas pela MN. Tais observações ocorreram em virtude das substâncias húmicas (SH) representarem as formas mais estáveis da matéria orgânica do solo, compondo a maior parte (até 90%) do COT (NOVAIS *et al.*, 2007). Na camada de 0,05 a 0,10 m as SH decresceram na ordem: PDM>PDS=PDG> PCM=PCG=PCS. Tais resultados estão diretamente relacionados à quantidade de cobertura vegetal na superfície do solo, associada à manutenção da umidade do solo e às altas temperaturas do semiárido, contribuindo para uma constante atividade biológica, favorecendo o processo de humificação (LOSS *et al.*, 2013).

Segundo Bezerra *et al.* (2013) o teor de carbono das frações húmicas são mais eficientes em identificar diferenças provenientes dos sistemas de uso do solo avaliados quando comparado ao COT, assim como ocorre para as formas mais lábeis de carbono.

Os teores médios de C na fração ácido fúlvico (FAF), ácido húmico (FAH) e humina foram maiores nos sistemas com PD (PDS, PDG e PDM) em comparação àqueles sob PC (PCS, PCG e PCM), na camada de 0,00 a 0,05 m, e na camada de 0,05 a 0,10 m com exceção da FH, que foi maior para o PDM (TABELA 6), indicando o aumento do processo de humificação e acúmulo de carbono em todas as frações das SH das camadas superficiais dos solos cultivados no SPD, corroborando com o observado por Bezerra *et al.*(2013), que

destacam a contribuição da palhada da superfície do solo no SPD para o aumento dos teores de carbono das substâncias húmicas.

Estes resultados têm como consequência à melhoria da qualidade do solo, visto que, as substâncias húmicas contribuem com a geração de cargas no solo, favorecendo: aumento da CTC, retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas (CAMPOS *et al.*, 2013), aumento da mobilidade de micronutrientes no solo (PEGORARO *et al.*, 2006), agregação (PORTUGAL *et al.*, 2010b) e capacidade de retenção de água (PERES *et al.*, 2010). Além disso, o aumento das SH no solo é sinônimo de redução de CO₂ da atmosfera, contribuindo com a mitigação do efeito estufa (SÁ *et al.*, 2014).

Sobretudo, os teores de C nas frações húmicas nos solos sob MN superaram os sistemas de cultivo, indicando que, apesar do efeito positivo dos SPD, o pouco tempo de implantação do trabalho (2 anos e 3 meses) ainda não é suficiente para alcançar condições mais estáveis (igual a MN), visto que, segundo Assis e Lanças (2010), o acúmulo de carbono no solo no SPD, está diretamente relacionado ao tempo de implantação do sistema.

Na camada de solo subsequente (0,10 a 0,20 m) observou-se teores iguais de FH no solo do PDM em comparação ao da mata nativa, e superiores aos demais sistemas de cultivo (TABELA 6), confirmando o potencial de recuperação dos teores de carbono em profundidade no PDM. Os teores de C nas FAF, FAH e FH foram iguais entre os diferentes sistemas de manejo, sendo os teores nas FAH e FH inferiores aos observados no solo de MN. .

De modo geral, pode-se observar que os sistemas com plantio direto, contribuíram com o aumento dos teores das frações húmicas nas camadas superficiais do solo, indicando maior sustentabilidade para tais sistemas, o que foi também observado por Campos *et al.* (2013), ao avaliarem frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo.

Os estoques de C nas frações CL e CSA nos solos em SPD foram maiores do que aqueles cultivados em SPC e iguais e menores à estocagem no solo de MN para as duas frações, respectivamente. Na camada de solo de 0,00 a 0,05 m. Nas demais profundidades, com exceção da estocagem de CL no solo de PDG e PDM nas camadas de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m respectivamente, a estocagem de CL e CSA no solo foram iguais para todos os sistemas de cultivo (FIGURA 6). Esses resultados estão em conformidade com Sá *et al.* (2014), que ao avaliarem diferentes sistema de manejo, verificaram maior contribuição do plantio direto para acúmulo de carbono nas camadas superficiais do solo, principalmente nas formas lábeis, contribuindo para melhoria das características edáficas.

Segundo Loss *et al.* (2009) a maior estocagem de carbono lábil no solo, favorece a melhoria nas suas propriedades químicas, contribuindo com um melhor crescimento radicular das culturas, e posteriormente, aumento na absorção dos nutrientes.

A proporção do CL em relação ao COT (CL/COT) foi maior para os sistemas de PD (16,59 a 17,26 %), seguido dos sistemas de PC (12,01 a 13,77 %) e MN (11,32 %), na camada de solo de 0,00 a 0,05 m de profundidade. Nas camadas de solo subsequente ocorre uma inversão nos resultados, onde, o PD, PC e MN apresentaram proporções que variaram nessa ordem: de, 11,00 a 11,72%, 12,34 a 16,03% e 14,17% na camada de 0,05 a 0,10 m e, de 7,95 a 11,91%, 7,73 a 10,57% e 14,84% na camada de 0,10 a 0,20 m. Na última profundidade (0,20 a 0,40 m), as relações CL/COT variaram de 8,63 a 10,74% para todos os usos, indicando menor influência destes em maiores profundidades, fato observado por Campos *et al.* (2013).

Deve-se ressaltar que, a menor proporção CL/COT observada na camada superficial do solo de MN em comparação aos sistemas de cultivo foi atribuída ao maior teor de CNL no solo da MN.

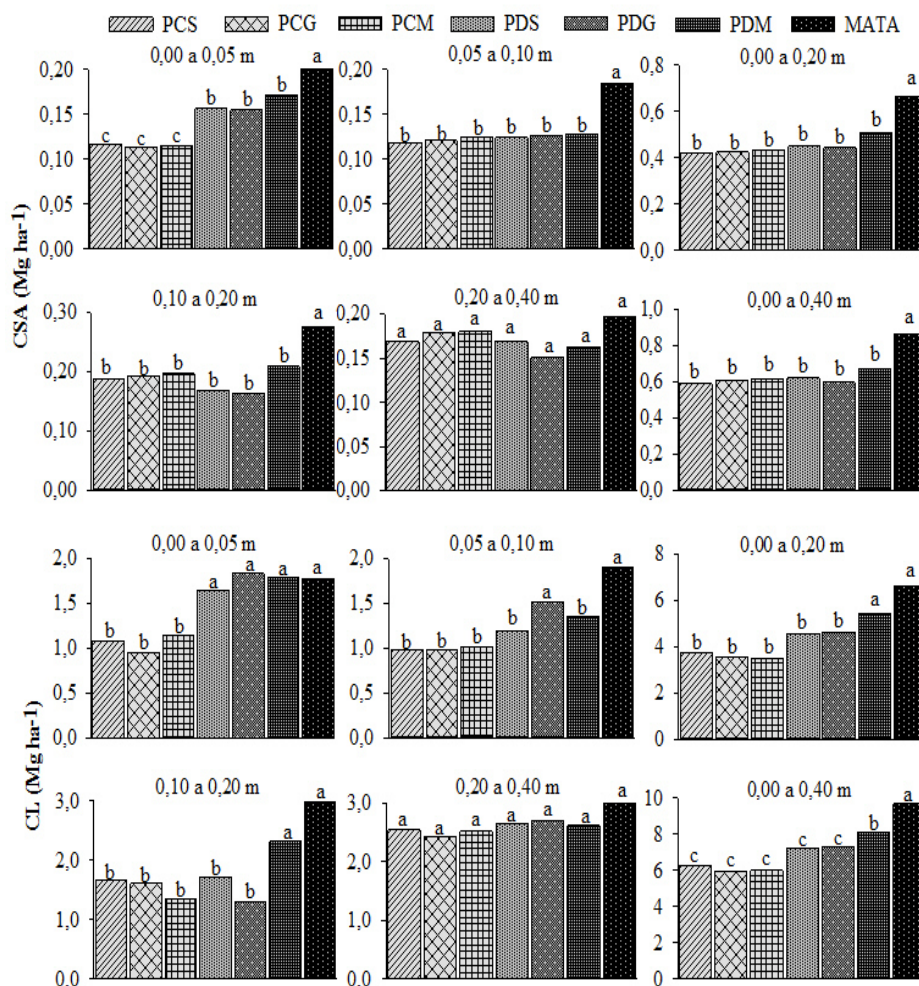


FIGURA 6. Estoques de carbono solúvel em água (CSA) e carbono lábil (CL) camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN). Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Para a proporção (CSA/COT), Verificou-se que o percentual de CSA em relação ao COT, foi em sua maioria, próximo de 1%, assemelhando-se a Pessoa *et al.* (2012), e superando os resultados de Rosa *et al.* (2003), Portugal *et al.* (2008) e Bezerra *et al.* (2013). Segundo Portugal *et al.* (2008), esse baixo valor percentual desta fração está relacionado ao intenso ataque das enzimas microbianas, associado à sua alta labilidade.

O CSA é uma fração muito lábil de carbono do solo, a qual é parte constituinte da fração CL (RANGEL *et al.*, 2008), estas apresentam plena atividade biológica por serem facilmente mineralizáveis, o que as tornam frações muito sensíveis às mudanças no uso do solo (SCHIAVO *et al.*, 2011). Diante disso, os cultivos sob sistema PD (PDS, PDG e PDM) apresentaram maior sustentabilidade, em virtude do aumento dos teores das formas lábeis de C nas camadas superficiais do solo, essenciais para a melhoria da produtividade em sistemas agrícolas (SÁ *et al.*, 2014).

Nas camadas de 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m, verificou-se estoque de CL do PDM maior em relação ao solo dos demais sistemas, e igual a MN na profundidade de 0,00 a 0,20 m, ao passo que, a estocagem de CSA não diferiu para os solos dos diferentes sistemas de manejo, sendo estas inferiores às observadas em solo de MN.

O estoque de CSA variou de 0,58 a 0,86 Mg ha⁻¹ ao longo dos 0,40 m de profundidade, sendo a estocagem de CSA nos solo dos sistemas de cultivos sempre menores da observada no solo de MN, com exceção da profundidade de 0,20 a 0,40 m, mostrando-se essa camada pouca influenciada pelos sistemas de manejo.

Observou-se uma redução de 37, 36, 35, 33, 34 e 24% da estocagem de CSA para as áreas de PCS, PCG, PCM, PDS, PDG e PDM, respectivamente, quando comparadas à MN, na camada de 0,00 a 0,20 m. Tais resultados

evidenciam o potencial de sustentabilidade para os sistemas de cultivo sob PD, principalmente com o milho em rotação nas condições semiáridas.

Essa maior estocagem de carbono nas formas lábeis ao longo dos 0,40 m de profundidade para PDM foi atribuída à produção de cobertura morta pelo milho nesse sistema, contribuindo com o aporte de carbono tanto pela decomposição da palhada (Aita *et al.*, 2006), como pelo favorecimento do crescimento radicular (Sá *et al.*, 2010). Esses autores relataram maior crescimento de raízes de milho até 1,00 m de profundidade em sistemas com cobertura de 5 e 10 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, em relação ao sistema sem cobertura.

O estoque de C nas SH nos solos dos sistemas de PDS, PDG e PDM foram maiores que os observados no solo dos sistemas PCS, PCG e PCM, e inferiores ao estoque de C nas SH no solo de MN na camada de 0,00 a 0,05 m (FIGURA 7). Tal comportamento foi verificado na camada subsequente (0,05 a 0,10 m), com uma variação no comportamento apenas entre os sistemas de PD, onde se observaram maiores valores para PDM. Na profundidade 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m não houve diferença estatística entre os sistemas, sendo, no entanto, inferiores a MN.

O maior acúmulo de SH observado nos solos sob sistemas de plantio direto, está relacionado à contribuição do não revolvimento do solo atrelado ao acúmulo de palhada em sua superfície, favorecendo a manutenção e o acúmulo das substâncias formadas pelo processo de humificação (LOSS *et al.*, 2010; CAMPOS *et al.*, 2013).

As SH compõem a fração mais estável de C no solo, e contribui majoritariamente para a estocagem de até 90 % do COT e na melhoria da qualidade química e física do solo (SILVA e MENDONÇA, 2007). Em nosso estudo, as proporções de carbono nas SH corresponderam a 92, 91 e 89 % em relação ao COT para os sistemas PD, PC e MN, respectivamente.

O estoque de carbono nas FAF, FAH e FH nos solos sob PDS, PDG e PDM, foram maiores que sob PCS, PCG e PCM, na camada de 0,00 a 0,05 m de profundidade, seguindo o mesmo comportamento na camada de 0,05 a 0,10 m e de 0,00 a 0,20 m para as FAF e FAH, ao passo que para FH não houve diferença entre os sistemas de cultivos na camada de 0,05 a 0,10 m, sendo que na camada de 0,00 a 0,20 m o PDM apresentou maiores valores, já nas camadas mais profundas a influência dos sistemas de manejo foi pouco expressiva (FIGURA 7). Tais resultados mostram maior contribuição dos SPD irrigado nas condições semiáridas para o aumento das frações FAF e FAH nas camadas superficiais do solo, corroborando com Campos *et al.* (2013), que obtiveram maiores acúmulos dessas frações na camada superficial de um Latossolo piauiense sob sistemas de PD com 3, 5 e 9 anos de implantação, avaliado em época chuvosa.

Losset *al.* (2006), em estudo feito em Latossolo Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, verificaram maiores valores para FAF e FAH nas áreas com maior cobertura vegetal, até 0,10 m de profundidade, assim como observaram menores valores para FAF e FAH com o aumento da profundidade, tanto para os solos dos sistemas agrícolas, como sob floresta.

Esse aumento na estocagem de substâncias húmicas, principalmente das FAF e FAH, indica uma grande melhoria nas qualidades químicas do solo, visto que, segundo Mendonça *et al.* (2006), essas frações apresentam alta reatividade, sendo as principais contribuintes da geração de carga no solo, apresentando uma correlação com o poder tampão que chegou a cerca de 99%.

No PDM tiveram-se maiores estoques de C em relação aos demais usos para, FAF na camada de 0,00 a 0,05 e 0,00 a 0,40 m, para FAH, SH e CNL na camadas de 0,00 a 0,40m e FH na camada de 0,10 a 0,20 e 0,00 a 0,20 m de profundidade, e, no PDS observou-se maior estoque da FAF na camada de 0,10 a 0,20 m, sendo que, em sua maioria, os estoques de C observados nos sistemas de cultivo foram inferiores àqueles obtidos no solo de MN (FIGURA 7).

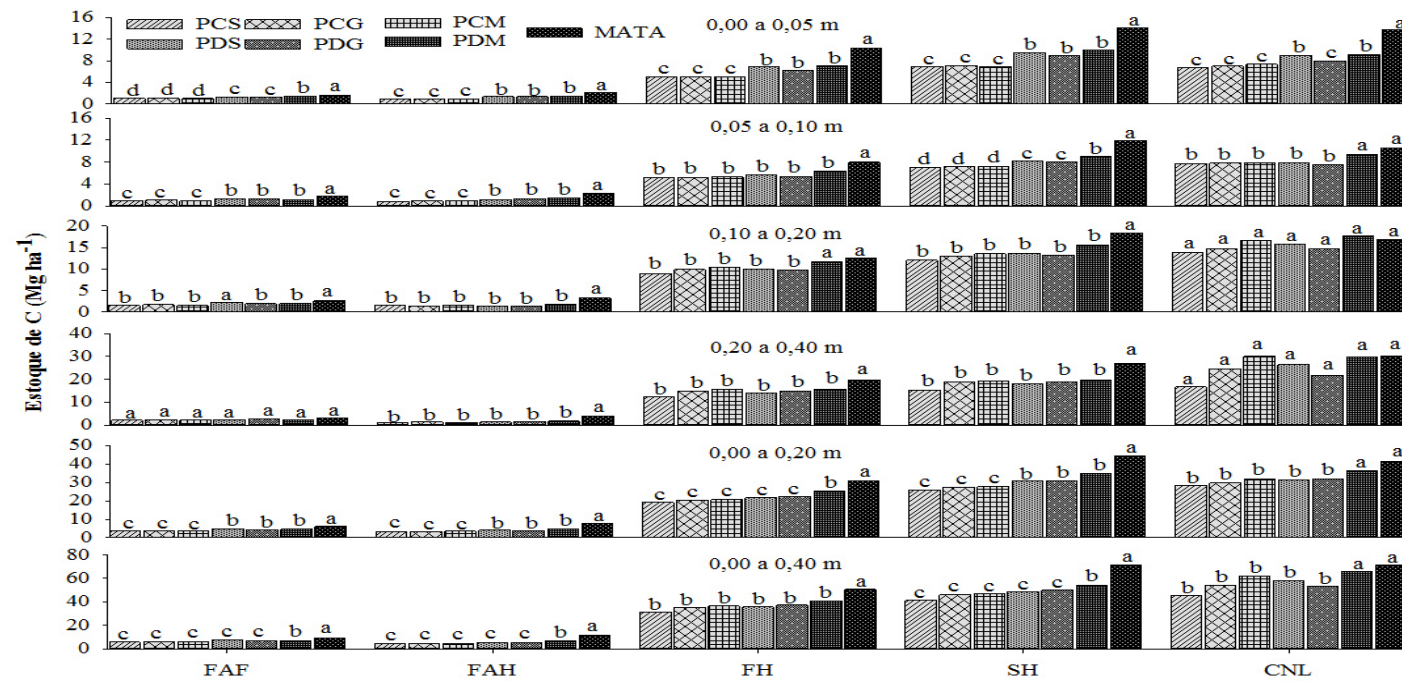


FIGURA 7. Estoques de carbono (C) nas frações ácidos fúlvicos (FAF), húmicos (FAH) e húminas (FH), substâncias húmicas (SH), carbono lábil (CL) e carbono não lábil (CNL) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40, 0,00 a 0,20 e 0,00 a 0,40 m de profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN). Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As observações anteriores evidenciam a recuperação do estoque de C nas frações húmicas da camada superficial do solo sob plantio direto irrigado no semiárido, principalmente nos sistema de rotação com a cultura do milho (PDM), onde os estoques da FAF foram maiores que os demais sistemas de plantio, ao passo que os sistemas com PC apresentaram menores estoques de C nas frações humificadas, o que é consequência do revolvimento do solo, mostrando-se aceleradores do processo de degradação do solo (CAMPOS *et al.*, 2013; SÁ *et al.*, 2014).

O maior estoque das frações húmicas no sistema PDM é consequência do maior aporte de material vegetal observado neste sistema, corroborando com Loss *et al.*(2010), onde observaram maior aporte dessas frações da matéria orgânica no sistema de plantio direto no verão, em função da maior quantidade de cobertura morta nesse período.Outro fator importante, é característica do sistema radicular das gramíneas, que segundo Dias Filho (2005) apresentam maior ramificação, e grande produção de exsudados, contribuindo com maior estocagem de C no PDM,e maior estoque de C na FAF no PDS em subsuperfície. Salton *et al.* (2008), estudando diferentes formas de uso em um Latossolo Vermelho caulínico, verificaram que a presença de gramíneas no SPD favoreceram o aumento do aporte de carbono solo e maiores taxas de sequestro de CO₂.Dessa forma, os resultados mostram o potencial do sistema de PD em manter ou recuperar o C no solo, ao passo que o sistema de preparo convencional em consequência do revolvimento, está reduzindo o estoque de carbono, o que levará com o tempo ao prejuízo das propriedades do solo (CAMPOS *et al.*, 2011; TIVET *et al.*, 2013)

Quando se observou a percentagem das frações húmicas na distribuição total do C humificado, verificou-se que a FH compõem a maior parte do húmus do solo nos sistemas avaliados, variando de 73,31 a 82,17%, sendo esse maior acúmulo no solo favorecido pela maior estabilidade estrutural e recalctrância

desta fração, o que dificulta o ataque microbiano (RANGEL e SILVA, 2007; PORTUGAL *et al.*, 2008; PEGORARO *et al.*, 2011; PESSOA *et al.*, 2012). Loss *et al.* (2010) ao quantificarem o carbono das substâncias húmicas em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob SPD e SPC no RJ, observaram que o C da FH representou 65 a 78% do COT.

Segundo Souza e Melo (2003), a maior estocagem de carbono na FH, contribui com melhoria das propriedades da fração coloidal da MOS, tais como: retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions. Diante disso, o maior acúmulo da FH observado nos sistemas sob PD (PDS, PDG e PDM), é um indicativo de maior sustentabilidade desse sistema.

A FAH apresentou em menor proporção (6,11 a 8,61%) em relação a FAF (11,21 a 13,80%) nos sistemas de cultivo na profundidade de 0,20 a 0,40 m, o que é consequência da maior solubilidade da primeira fração, favorecendo o seu movimento para maiores profundidades no solo (MARTINS *et al.*, 2009; PESSOA *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2013). Loss *et al.* (2006), estudando o efeito de diferentes coberturas vegetais em Latossolo Amarelo, observaram maior presença de FAF em relação a FAH até 0,70 m, tanto nos sistemas cultivados como no solo sob vegetação nativa.

4.3 Índices de humificação e sustentabilidade dos cultivos agrícolas

O índice de humificação (IH) (TABELA 7) indica a fração do carbono do solo que está humificado. De modo geral, observou-se comportamento similar do IH entre os sistemas de cultivo para todas as profundidades (0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m).

TABELA 7. Índice de humificação (IH), grau de polimerização (GP), relação extrato alcalino / fração húmica (EA/FH), índice de labilidade (IL), índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (L) e índice de manejo de carbono (IMC) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico textura média, sob preparo convencional com sorgo (PCS), girassol (PCG), milho (PCM); plantio direto com sorgo (PDS), girassol (PDG), milho (PDM), e mata nativa (MN).

Tratamentos	IH	GP	EA/FH	IL	ICC	L	IMC
—%—							
0,00 a 0,05m							
PCS	87,62a	0,88b	0,39a	0,62b	0,50d	0,16b	31,08c
PCG	89,47a	0,95b	0,40a	0,54b	0,51d	0,14b	27,40c
PCM	82,23a	0,90b	0,39a	0,64b	0,54d	0,15b	35,91c
PDS	87,90a	1,07b	0,42a	0,94a	0,61c	0,21a	57,70b
PDG	92,42a	1,12b	0,38a	1,05a	0,69b	0,20a	73,16b
PDM	92,21a	1,02b	0,42a	1,02a	0,70b	0,20a	71,53b
MATA	90,54a	1,32a	0,36a	1,00a	1,00a	0,13b	100,00a
0,05 a 0,10m							
PCS	80,34a	0,85a	0,35c	0,51c	0,70c	0,12a	35,27c
PCG	81,95a	0,87a	0,38c	0,54c	0,70c	0,13a	37,25c
PCM	80,55a	1,04a	0,36c	0,56c	0,71c	0,13a	39,62c
PDS	87,77a	1,00a	0,49a	0,65c	0,70c	0,16a	45,10b
PDG	91,85a	0,96a	0,43b	0,78b	0,75c	0,19a	58,34b
PDM	84,47a	1,32b	0,42b	0,70c	0,85b	0,14a	60,08b
MATA	94,98a	1,31b	0,50a	1,00a	1,00a	0,18a	100,00a
0,10 a 0,20m							
PCS	77,76b	1,01a	0,35b	0,63b	0,78a	0,12a	51,81b
PCG	81,16b	0,85b	0,32b	0,57b	0,83a	0,12a	46,36b
PCM	75,52b	1,08a	0,31b	0,48b	0,91a	0,08a	43,97b
PDS	83,48b	0,72b	0,34b	0,45b	0,81a	0,08a	38,52b
PDG	80,54b	0,64b	0,37b	0,62b	0,88a	0,12a	54,55b
PDM	79,76b	0,93a	0,32b	0,86a	1,01a	0,14a	90,36a
MATA	93,10a	1,26a	0,48a	1,00a	1,00a	0,18a	100,00a
0,20 a 0,40m							
PCS	58,78a	0,50b	0,26a	0,85a	0,58c	0,15a	49,30d
PCG	70,08a	0,64b	0,25a	0,80a	0,81b	0,10a	64,78c
PCM	66,12a	0,54b	0,22a	0,85a	0,97a	0,08a	82,59b
PDS	68,78a	0,57b	0,28a	0,88a	0,86a	0,11a	75,37b
PDG	74,89a	0,64b	0,29a	0,90a	0,74b	0,13a	66,82c
PDM	65,65a	0,83b	0,25a	0,87a	0,97a	0,09a	84,22b
MATA	78,70a	1,50a	0,38a	1,00a	1,00a	0,10a	100,00a

IH: índice de humificação (SH/COT*100); GP: grau de polimerização: C-FAH/C-FAF; EA/FH: relação entre extrato alcalino (FAF+FAH) e fração húmica; ICC: índice de compartimento de carbono, calculado como: ICC = COT cultivado/COT mata; L: labilidade, calculado como: L = CL/CNL; IL: índice de labilidade, calculado como: IL = L cultivado/L mata e IMC: índice de manejo de carbono. Letras iguais, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. *E, corresponde a estoque.

Essa pouca influência dos sistemas de manejo sobre o IH é atribuída ao período de coleta do solo, que compreendia o momento de pousio, perfazendo mais de três meses sem revolvimento, o qual favoreceu certa estabilização do processo de humificação nos sistemas.

Tais resultados são respaldados por Campos *et al.* (2013), onde, ao avaliarem a estocagem C nas frações da MOS em sistemas de plantio direto e preparo convencional com diferentes tempo de implantação, em Latossolo Amarelo, verificaram pouca influência dos sistemas de manejo sobre o IH, quando avaliado período seco, em consequência do maior tempo de pousio.

O grau de polimerização (GP) só apresentou diferença estatística entre os sistemas de cultivo nas camadas de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, com maiores valores para PDM e, PCS, PCM e PDM, respectivamente, equiparando-se a MN. Tal fato é atribuído aos resíduos das gramíneas, principalmente do sistema radicular, favorecendo maior conteúdo da FAH em relação a FAF em subsuperfície, em detrimento de maiores teores de lignina (PRIMAVESI, 1990; PEREIRA *et al.* 2012).

Contudo, os GPs (FAH/FAF) menores que 1 na camada superficial do solo dos sistemas sob preparo convencional (PCS, PCG e PCM) (TABELA 7), indicam menor intensidade do processo de humificação e menor qualidade da MOS, o que é consequência da intensa mineralização dos resíduos, provocada pelo revolvimento do solo (CANELLAS *et al.* (2004). Já nos sistemas sob plantio direto (PDS, PDG e PDM), a manutenção da palhada na superfície do solo, associada à umidade constante do solo mantida pela irrigação, e às altas temperaturas da região semiárida, promoveram aceleração do processo de humificação, atingindo em 2 anos e três meses, valores de GP maiores que 1,0, o que indica uma matéria orgânica de ótima qualidade, que pode favorecer a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo adequadas ao crescimento das plantas (GUARESCHI *et al.*, 2013).

Em subsuperfície, os maiores valores de GP observados sob PCM na profundidade de 0,05 a 0,10 m, e para PCS e PCM na profundidade de 0,10 a 0,20 m (TABELA 7) foi atribuído à incorporação de maior quantidade de resíduos vegetais provenientes dos cultivos pelo sistema de preparo do solo. Na camada inferior de solo (0,20 a 0,40m), todos os sistemas de cultivo apresentaram valores de GP inferiores a 1,0, indicando menor grau de humificação da MOS com o aumento da profundidade dos solos cultivados.

Os sistemas de PDS, seguido do PDG e PDM promoveram maiores valores da relação entre as frações alcalino-solúveis (FAF+FAH = EA) e fração humina (FH) (EA/FH), em comparação aos sistemas PCS, PCG e PCM, na camada de 0,05 a 0,10 m (TABELA 7). Isso ocorreu em decorrência da maior deposição e ciclagem de resíduos vegetais na superfície dos solos sob plantio direto irrigado no semiárido, favorecendo manutenção e um rápido acúmulo das frações EA, bem como o seu transporte para maior profundidade, em função da maior solubilidade destas frações (SILVA e MENDONÇA, 2007, PEREIRA *et al.*, 2012). Nas demais camadas de solo (0,00 a 0,05, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m), não houve diferença estatística para relações EA/FH entre os sistemas de cultivo.

O aumento da proporção das frações EA, bem como dos seus teores nas camadas superficiais dos solos cultivados sob plantio direto indicam aumento da qualidade do solo, em virtude do incremento de compostos orgânicos solúveis, principais responsáveis pela manutenção da atividade biológica, pela solubilização, complexação e transporte de nutrientes na solução do solo para as raízes das plantas, dentre outros (CAMPOS *et al.*, 2013; TIVET *et al.*, 2013).

Todos os sistemas de cultivo induziram IMC menores que 100, bem como os demais índices de sustentabilidade (IL, ICC, com exceção de L) inferiores aos do solo sob MN (TABELA 7), indicando impacto negativo dos

sistemas de manejo sobre o estoque e qualidade da matéria orgânica do solo (BLAIR *et al.*, 1995).

Embora todos os sistemas de manejos mostrem impacto negativo, os sistemas com PD mostraram um recuperação do C e da qualidade da matéria orgânica, assim como se mostram mais sustentáveis que os sistemas de PC, por induzirem, maior labilidade (L) da matéria orgânica, compartimentação de carbono (ICC) e maiores índices de labilidade (IL) na camada de 0,00 a 0,05 m, e maiores índices de manejo de carbono (IMC) nas camadas superficiais do solo (0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m) (TABELA 7), podendo impactos positivos serem identificados com o aumento do tempo de implantação. Sobre tudo, entre os SPD, o PDM foi o mais promissor, visto que promoveu maiores IMC até a profundidade de 0,10 a 0,20 m, onde se equiparou a MN. Contrariamente ao observado nos sistemas de PD, maior impacto foi observado para os sistemas com PC nas camadas superficiais, o que é consequência do revolvimento do solo nesse sistema de preparo, conforme Campos *et al.* (2013).

Esses resultados corroboram com Bona (2005), estudando a MOS em sistemas irrigados por aspersão sob SPD e SPC. Nicoloso (2005) ao avaliar o comportamento da MOS em áreas de integração lavoura-pecuária sob SPD, e Rossi *et al.* (2012) ao analisar a dinâmica da MOS em sistema de plantio de soja sobre diferentes palhadas, observaram maiores índices de manejo de carbono (IMC), índices de compartimento de carbono (ICC) e índice de labilidade (L), nos sistemas com maior aporte de cobertura vegetal e sem revolvimento do solo.

O milho favoreceu maior recuperação do carbono do solo no sistema de PD na profundidade de 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, e no sistema de PC na profundidade de 0,20 a 0,40 m, indicando suas vantagens na recuperação da qualidade do solo em subsuperfície.

Schiavo *et al.* (2011), avaliando índices de manejo de carbono em Latossolo Vermelho Amarelo, observaram maiores índices para os sistemas com

maiores coberturas vegetais, principalmente no sistema com gramínea (braquiária) na profundidade de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

5 CONCLUSÕES

Os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e frações da matéria orgânica na camada superficial do solo no semiárido, são maiores para o sistema de plantio direto, especialmente com a cultura do milho.

Em relação à rotação com o milho no sistema de plantio direto é mais promissor que o sorgo e girassol para a recuperação do estoque de carbono do solo.

Já os sistemas de plantio direto no semiárido são mais sustentáveis para redução da emissão de CO₂, em razão da maior compartimentação de carbono no solo neste sistema, indicado pelos maiores valores de ICC e IMC na camada superficial.

Portanto, o sistema de plantio direto nas condições do semiárido promove em um curto espaço de tempo (2 anos e três meses), aumento na estocagem de carbono nas frações da matéria orgânica do solo, bem como melhoria na qualidade da matéria orgânica, indicado pelos valores de GP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. & MARQUES, M.G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.149-161, 2006.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. KUNTZE, A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.415-424, 2005.

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; PEDRO M. da SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, n.4, p.411–418, 2009.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; CIMÉLIO BAYER, C; WILDNER, L. P. Comportamento de Atributos Relacionados com a Forma da Estrutura de Latossolo Vermelho Sob Sistemas de Preparo e Plantas de Cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.425-435, 2005.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F. ANDRIOLI, I. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Acriférrico Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Agregação de um Nitossolo Vermelho Distroférrico Sob Sistemas de Plantio Direto, Preparo Convencional e Mata Nativa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.58-66, 2010.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p. 191-1192, 1988.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

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, p. 469-475, 2003.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álicofetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 30, p. 91-95, 2000.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1450-1459, 1995.

BERTOL, I. ; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE D. AMARAL A. J.; ZOLDAN JUNIOR W. A. Propriedades Físicas do Solo Sob Preparo Convencional e Semeadura Direta em Rotação e Sucessão de Culturas, Comparadas às do Campo Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. 154p.

BRAUNACK, M.V.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil Tillage Res.**, v.14, p.259-279, 1989.

BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison, America Society of Agronomy, p.1085-1121, 1996.

BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production**. FAO Soils Bulletin, 2005. 80p.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, A.G.; IWATA, B.F.; NÓBREGA, J.C.A. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, A.G.; BRASIL, E.L. IWATA, B.F. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, 2011.

CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 233-240, 2004.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F., PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CANTARELLA, H., ANDRADE, C. A., JUNIOR, D. M. 2. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas. In: SANTOS, G.A. de., SILVA, L.S.da., CANTANELLAS, L.P., CAMARGO, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole. 2008. 582p.

CERRI, C.C., BERNOUX, M., FERREIRA MAIA, S.M., PELLEGRINO CERRI, C.E., COSTA JUNIOR, C., FEIGL, B.J., FRAZAO, L.A., DE CASTRO MELLO, F.F., GALDOS, M.V., MOREIRA, C.S., NUNES CARVALHO, J.L. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**. V. 67, p. 102–116, 2010.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos Físicos de Solos Sob Diferentes Usos com Irrigação no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, n.4, p.358–365, 2009.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. DE. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 2, 2010.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades Físicas de um Latossolo Bruno Afetadas Pelos Sistemas Plantio Direto e Preparo Convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.7, p.1185–1191, 2006.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e Disponibilidade de Água às Plantas, em Solo Sob Plantio Direto e Preparo Convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.855–864, 2009.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens – processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.

DOBBSS, L. B.; RUMJANECK, V. M.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; CANELLAS, L. P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 51-63, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Cultivo do Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção 2ISSN 1679-012X, Versão Eletrônica - 2ª edição Dez./2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_2ed/ecofisiologia.htm> Acesso em: 25 Jan 2014.

_____. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição Set./2009. Disponível em: <http://www.cnpmc.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/index.htm> Acesso em: 24 Jan 2014.

_____. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. Evolução do plantio direto no Brasil. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>> Acesso em: 28 Jan 2014.

FLORES, C.A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da Qualidade Estrutural, Pelo Sistema Plantio Direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2164-2172, 2008.

FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2073-2080, 2008.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado

de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2615-2628, 2013.

JOURAIPHY, A.; AMIR, S.; EL GHAROUS, M.; REVEL, J.; HAFIDI, M. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. **Inter. Biodet. Biodeg.** v. 56, p. 101-108, 2005.

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Adv. Agron.**, v. 74, p. 155- 192, 2002.

LEITE, L.F.C.; ARRUDA, F.P.; COSTA, C.N.; JUSCÉLIA da S. FERREIRA, J.S.; NETO, M.R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.12, p.1257–1263, 2013.

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

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

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.;BRITO, G.P. Distribuição das substâncias húmicas em solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais. **R. Univ. Rural Sér. Ci. Vida**, v. 26, p. 68-77, 2006.

LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; NETO, A R. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p.426-432, 2013.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, C. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MAIA, S.M.F; XAVIER, F.A.S. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 381-392, 2008.

MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, v. 39, p.655-660, 2009.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de Preparo de Solo: Alterações na Estrutura do Solo e Rendimento Das Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.

MEDEIROS, G.B.; CALEGARI, A. Sistema Plantio Direto com qualidade: a importância do uso de plantas de cobertura num planejamento cultural estratégico. **Revista Plantio Direto**, ed.102, nov/dez, 2007.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005.107 p.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D.L.; MARTINS, A.G.; SILVA, A.P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and sandy olam Oxisol from the Cerrado. Region, Brazil. **Geoderma**, v.132, p.131-140, 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILAVA, L.S; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 2008. p. 636.

MORAN, K.K. SIX, J.; HORWATH, W. R.; KESSEL, C. V. Role of mineral nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.1730-1736, 2005.

MOREIRA, F.M.S. SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOUSSA-MACHRAOUI, S. B.; ERROUSSI, F.; BEN-HAMMOUDA, M.; NOUIRA, S.; Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil and Tillage Research*, v. 106, n. 2, p. 247-253, 2010.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005. 150p.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. ; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.

PEGORARO, R.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. S.; GEBRIM, F. O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do Solo e resíduos vegetais. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006.

PEGORARO, R. F. SILVA, I. R. de; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; FONSECA, S. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto nos sistemas convencional e fertirrigado. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 272-279, 2010.

PEGORARO, R. F. SILVA, I. R. de; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S Estoques de carbono e nitrogênio nas frações

da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, v.21, n.2, p.341-354, 2011.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.875-886, 2010.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J. ; TORRES, J. L. R. Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatan, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2012.

PESSOA, P.M. DE A.; DUDA, G. P.; BARROS, R. B. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S.; NASCIMENTO, C. W. A. DO; CORREA, M. M. Frações de Carbono Orgânico de um Latossolo Húmico sob Diferentes Usos no Agreste Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 97-104, 2012.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, v. 75, p. 57-134, 2002.

PORTUGAL, A. F. JUCKSCH, I; SCHAEFER, C.E.G.R; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho -Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades Físicas e Químicas do Solo em Áreas com Sistemas Produtivos e Mata na Região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.575-585, 2010a.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de Agregados em Argissolo Sob Diferentes Usos, Comparado com Mata. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.4, p. 545-553, jul/ago, 2010b.

POWLSON, D. S.; BROOKS, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of change in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 159-164, 1987.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. p. 549.

PRUSKI, F. F. (ed) **Conservação do solo e água : práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2ed, 2009. 279p.

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

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

RESENDE, M.; FERNANDES, B. & COELHO, D.T. **Levantamento de reconhecimento dos solos da Bacia de Irrigação do rio Gorutuba**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Convênio DNOCS-UREMG, 1969. 143p.

RICE, J. Humim. **Soil Science**, v. 166, p. 848-857, 2001.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J.R. Formas de Carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob Plantio Direto no Sistema Biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911-923, 2003.

ROSSI, R.O. Girassol. Curitiba: Tecnagro. Curitiba, 1998. 333p.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SÁ J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, A. M.; FIGUEIREDO, A. G. Crescimento radicular, Extração de Nutrientes e Produção de Grãos de genótipos de milho das Diferentes quantidades de palha de aveia-preta do Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1207-1216, 2010.

SÁ, J. C. de M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, I.; HARTMAN, D. C., SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.

SACRAMENTO, J. A. A. S. DO; ARAÚJO, A. C. DE M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. DA S; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. DE. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 784-795, 2013.

SALES, R. P. **Qualidade física de um Latossolo do semiárido mineiro, em sucessão de culturas nos sistemas plantio direto, preparo convencional e mata nativa**. Monografia (Graduação). Universidade Estadual de Montes Claros. Janaúba, 2012.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SANTANA, G.S.; DICK, D.P.; TOMAZI, M.; BAYER, C.; JACQUES, A.V.A. Chemical composition and stocks of soil organic matter in a south Brazilian oxisol under pasture. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Vol. 24, No. 5, 821-829, 2013.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Preparo Convencional**. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html> Acesso em 28 de Jan. 2014.

SANTOS, P. R. **Atributos do solo em função dos diferentes usos adotados em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco**. Tese (doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2010.

SANTOS, H. P. dos; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 441-454, 2008.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. DE M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. DA C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 09n. 1, 2014.

SILVA, M. A. de A. **Desenvolvimento radicular das culturas de feijão, soja e milho, sob diferentes manejos de solo, irrigadas por pivô central**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2007.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, A.S.; SILVA, I.F.; FERREIRA, L.E.; BORCHARTT, L.; SOUZA, M.A.; PEREIRA, W.E. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n.4, p. 1064-1072, 2013.

SISTI, C. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

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

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

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p.1011-1069.

TIVET, F., SÁ, J.C.M., LAL, R., MILORI, D.B.M., BRIEDIS, C., LETOURMY, P., PINHEIRO, L.A., BORSZOWSKI, P.R., HARTMAN, D.D.C. Assessing humification and organic C fractions by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies in conventional and no-till methods in Brazil's sub-tropical and tropical agro-ecoregions. **Geoderma** v. 207-208, p. 71-81, 2013.

WOHLENBERG, E.V. REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E.. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method or routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant.**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

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

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.