

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ESTOQUES E NA
LABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO SOB
COVAL NO CERRADO**

Diego Oliveira Ribeiro
Eng. Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
Julho de 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ESTOQUES E NA
LABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO SOB
COVAL NO CERRADO**

Diego Oliveira Ribeiro

Orientador: Dr. Edicarlos Damacena Souza
Co-orientadores: Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Dr. Helder Barbosa Paulino

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
Julho de 2012

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Diego Oliveira Ribeiro – Filho de José Ribeiro e Lourdes Francisca Oliveira Ribeiro, nascido no dia 08 de julho de 1985 no município de Mineiros – GO, iniciou a graduação na Universidade Integrada de Mineiros (FIMES) em fevereiro de 2005, obtendo título de Engenheiro Agrônomo em 2010. Ingressou no mestrado em Agosto de 2010 pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFG, obtendo o título de mestre em julho de 2012.

“Se você diz que pode ou não pode, você
sempre estará certo”

Henry Ford

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais José Ribeiro e
Lourdes Francisca Oliveira Ribeiro. Aos
meus irmãos Gustavo Oliveira Ribeiro e ao
meu filho Luís Henrique Vilela Ribeiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao nosso Deus, cuja fé Nele me fortaleceu em todos os momentos difíceis de minha vida e me iluminou mostrando os caminhos seguros.

À Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de realizar este sonho.

Ao CNPq e a CAPES pelo apoio.

À minha família: meus pais José Ribeiro e Lourdes Francisca Oliveira Ribeiro pelo apoio fé e confiança depositados em mim nesta etapa da minha vida. Onde foram o meu refúgio e fortaleza nos momentos difíceis para que eu completasse essa jornada. Aos meus queridos irmãos Gustavo Oliveira Ribeiro, e ao meu amado filho Luís Henrique Vilela Ribeiro pelos ensinamentos compreensão, amizade, carinho e alegrias compartilhadas.

Ao meu orientador prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza, pela orientação, dedicação, paciência, conselhos e apoio para que esse trabalho fosse realizado.

Ao prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro e Helder Barbosa Paulino, pela amizade, orientação e generosidade em compartilhar conhecimento.

Aos Professores do PPGA.

Ao grupo de solos e todos aqueles que fazem parte da pós-graduação, pela convivência.

Aos meus amigos Leonardo, Franciane, Flávio, Geanderson, João, Dorotéia, Alexandre, Andrey, Nayane, Juliete, Marcos Humberto, Alex, Watson, Renata, Caio, entre outros, pela amizade, trabalho em equipe e conhecimentos compartilhados.

Aos colegas do Sul, pela recepção, companheirismo e amizade, Sérgio, Amanda, Filipe Selau, Adão, Osmar entre outros.

Aos professores e colegas da UNIFIMES pelo aprendizado e amizade durante a minha jornada de 5 anos que estive por lá. Em especial: Arley, Manolo, Sara, Neusa, Hudson, Túlio Seabra, Rodrigo.

À Laíze pelo incentivo ao ingresso na pós-graduação.

Ao Senhor Cairo Viana Vilela e Senhora Maria Aparecida Ferreira Vilela por cuidar tão bem do meu precioso Filho.

Aos meus companheiros de república Gustavo, Talles e Thiago.

A todos o meu muito obrigado, só tenho que agradecer à vocês por tudo

SUMÁRIO

RESUMO	II
ABSTRACT.....	III
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – CAPÍTULO 1: ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO	3
2.1 – Solos sob área de “coval”	3
2.2 – Comportamento da matéria orgânica do solo	5
2.3 – Frações da matéria orgânica do solo	8
2.4 – Índice de manejo de carbono.....	11
2.5 – Referências	14
3 – CAPÍTULO 2: IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ESTOQUES DE MATÉRIA ORÂNICA E AGREGAÇÃO EM SOLO SOB COVAL NO CERRADO	20
4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46

IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO SOB COVAL NO CERRADO

RESUMO – A conversão de ecossistemas naturais para a atividade agrícola resulta numa entropia inicial do sistema afetando a dinâmica da matéria orgânica do solo, sendo necessários estudos sobre os impactos da atividade agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da conversão de áreas nativas de coval para a atividade agrícola, em plantio direto, sobre a matéria orgânica do solo e suas frações. O estudo foi desenvolvido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, em Plintossolo Háplico, submetido a uma cronosequência de 7, 11 e 16 anos de cultivo, manejadas sob sistema de plantio direto, e uma área referência caracterizada pelo topo e base dos murundus. Os estoques de carbono orgânico total foram semelhantes, a área nativa de topo ($45,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), com 7 anos ($38,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) de implantação do plantio direto, tendo maior tendência de elevação com o aumento de condução deste sistema de manejo. Entretanto quando comparado à base dos murundus ($58,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) ocorre uma redução dos estoques de carbono por apresentar condições de umidade diferentes dos sistemas agrícolas e do topo dos murundus. As fração do C-MOP, recuperou os estoques com apenas 7 anos de PD. O diâmetro médio ponderado dos agregados acompanhou os estoques de matéria orgânica do solo, apresentando 2; 2,1; 2,4; 2,4; e 2,8 mm para os tratamentos PD7, PD11 PD16 CT e CB. O plantio direto igualou os estoques de carbono a área nativa de topo com 7 anos de sua condução elevando a qualidade da matéria orgânica tendendo aumentar com maior tempo de condução.

Palavras-chave: Plantio direto, cronosequência de cultivos, índice de manejo de carbono.

IMPACT ON AGRICULTURE IN SOIL ORGANIC MATTER STOCKS IN THE “COVAL SOIL” UNDER CERRADO

ABSTRACT - The conversion of natural ecosystems for agriculture results in the initial entropy of the system affecting the dynamics of soil organic matter, studies are needed on the impacts of agricultural activities. The purpose of this study was to evaluate the impact of conversion of native forests of Coval for agriculture, in no tillage on soil organic matter and its fractions. The study was conducted in areas belonging to the Fazenda Boa Vista in Haplic Plinthosol, subjected to a chronosequence of 7, 11 and 16 years of cultivation, managed under no-tillage system, and a reference area characterized by top and bottom of the murundus. The carbon stocks were similar to the native top (45,9 Mg ha⁻¹) with 7 years of implementation no tillage (38,8 Mg ha⁻¹) having a greater tendency to increase with the increase of conducting this management system. The fraction of C-MOP, stocks recovered with just seven years of PD. The weighted mean diameter of soil aggregates followed the stocks of soil organic matter, with 2, 2.1, 2.4, 2.4, and 2.8 mm for the PD7, PD11 PD16 CT and CB. No-tillage carbon stocks equaled the native range top with 7 years of his conduct by raising the quality of organic matter tends to increase with more time to drive.

Key-words: no-tillage, chronosequence of cultivate, carbono manegement index.

1 - INTRODUÇÃO

A região Centro-oeste destaca-se no cenário nacional como importante polo produtor de grãos. Nessa região há predominância de uma agricultura com alto nível tecnológico utilizado na produção de grãos. Quando a atividade agrícola inicia-se ocorre uma mudança brusca na vegetação e no uso do solo, acarretando aumento da entropia do sistema solo, provocando redução dos estoques de matéria orgânica.

A partir da década de 80 o plantio direto (PD) teve início na região central do país, obtendo maior implantação a partir dos anos 90. Este tipo de sistema recebeu grande aceitação por parte da comunidade agrícola por reduzir custos de produção e minimizar os danos causados pela erosão, além de recuperar os estoques de matéria orgânica do solo.

A matéria orgânica do solo é de extrema importância para a qualidade do mesmo, pois influencia as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de ser importante contribuinte para a mitigação de gases causadores do efeito estufa. Isso porque o solo é um grande reservatório de matéria orgânica (C e N), contendo quatro vezes mais carbono que a vegetação terrestre e mais de três vezes o presente na atmosfera.

Em função do manejo adotado ao solo, conforme o tempo de adoção da atividade agrícola, os estoques poderão ser menores, iguais ou mesmo superiores ao que se encontrava em áreas nativas, podendo desta forma, ser fonte ou dreno de carbono para a atmosfera.

Estudos demonstram que a adoção do PD tem sido eficiente em recuperar os estoques de carbono em grande parte dos solos estudados, principalmente em Latossolos. No entanto, existem alguns ambientes que são mais sensíveis quando ocorre a transição de áreas nativas para a atividade agrícola, mesmo que esta conversão seja realizada por meio de manejo conservacionista.

Assim, a conversão de áreas nativas para a atividade agrícola pode levar a caminhos diferentes em função do tipo de manejo adotado. Em ambientes propensos ao alagamento como as áreas de “covais ou campos de murundus” os trabalhos ainda são incipientes necessitando de estudos com longo período de tempo para a avaliação

da qualidade do solo. Portanto este trabalho teve por objetivo avaliar o impacto da conversão de uma área nativa de coval para a agricultura, em plantio direto, nos estoques de matéria orgânica e na sua labilidade, avaliada através de frações granulométricas.

2. CAPÍTULO 1: ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

2.1 - Solos sob Área de “Coval”

As áreas de coval ocorrem em condições de solos alagados em pequenas porções do território brasileiro. Nesses solos uma característica bastante comum são os murundus, que são elevações circulares com cerca de 1 a 3 metros de altura e 4 à 10 metros de diâmetro, podendo ocorrer variações na altura e diâmetro (Motta et al., 2002).

Essa elevação ovalada associado à má drenagem da água, muitas vezes é resultante da existência de lençol freático superficial ocorrendo em áreas de relevo plano, como baixadas, terços inferiores de encostas, formando um ambiente alagado durante grande período do ano (Martins et al., 2006). Este tipo de solo é coberto por vegetação campestre, entre os murundus onde ocorre o alagamento, e por vegetação lenhosa do cerrado, no topo dos murundus onde não ocorre o alagamento. Ainda, se observa um tipo de gramínea característico dessas áreas, que muitas vezes serve de alimento para animais silvestres e/ou domésticos, no período seco em que ocorre o secamento da área (Resende et al., 2004).

A origem dos murundus não está bem estabelecida, no entanto existem algumas hipóteses relacionadas à sua formação. Na primeira hipótese a sua formação é resultante da ação erosiva provocada pela ação das águas de escoamento superficial. Já a segunda hipótese, de origem biológica, sustenta que os murundus seriam resultantes da atividade de térmitas (cupins), que seriam ninhos sobrepostos, como tentativa de fuga contra predadores destes organismos, ou mesmo na tentativa de fuga do alagamento, ficando os murundus cada vez maiores (Resende et al., 2004; Martins et al., 2006).

Nos solos de coval ocorre um processo alternado e sequencial entre o período seco e o período de extrema umidade. O horizonte superficial fica com baixos teores de ferro e rico em materiais como o quartzo, gibbsita e caulinita, em menor proporção. Já no horizonte subsuperficial há grande concentração de concreções de coloração

amareladas, que são as plintitas, sendo este processo denominado Plintização (Motta et al. 2002).

A plintita é uma formação constituída de mistura de material de argila com grãos de quartzo e outros minerais pobres em carbono e rico em ferro e alumínio, que sob vários ciclos de umedecimento e secagem se consolida de forma irreversível (Duarte et al., 2000; Anjos et al., 2007). A formação da plintita está relacionada à segregação, transporte e concentração de ferro, que pode ser originado da rocha de formação desse solo. Em caso de interrupção deste processo de umedecimento e secagem, via drenagem, a plintita irá sofrer um arranjo estrutural dos óxidos de ferro e ocorrerá um processo de endurecimento irreversível, passando a ser chamado este material de petroplintita.

Com isso, os solos predominantes nesse ambiente são os Plintossolos, que são constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário iniciando dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm quando imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante. O horizonte diagnóstico plíntico é definido de acordo com a quantidade de plintita, e sua extensão deve ter no mínimo 15 cm de espessura e conter mais de 15 % de plintita por volume de solo (Embrapa, 1999).

Muitas vezes a transição das áreas de coval, para sistemas agrícolas pode não ser uma alternativa bem sucedida, por apresentar escoamento lento da água oriunda do lençol freático superficial, ocasionando muitas vezes condições inadequadas a operação de implementos agrícolas neste tipo de solo. Além disso, são ambientes que podem favorecer o aparecimento de doenças fúngicas às plantas, se não mecanizados adequadamente.

Estas áreas têm um importante papel ambiental, pois, nelas há o desenvolvimento de uma diversificada variedade de répteis, pássaros, mamíferos e uma gama de espécies vegetais. Além disso, essas áreas são consideradas como zonas de recarga do lençol freático, atuando na perenização das nascentes primárias, conseqüentemente dos rios que são contribuintes, devido à água acumulada nos

períodos chuvosos ser drenada lentamente para as nascentes nos períodos secos (Castro Júnior, 2002).

A exploração dessas regiões alagadas depende de estudos que proporcionam uma base científica fundamental, para o conhecimento da reprodução, alimentação, fisiologia e comportamento das espécies. Além disso, constituem a base para estudos sobre processos evolutivos, sobre mecanismos e sobre processos de adaptação a ambientes de estresse.

Apesar dessas áreas serem utilizadas para a atividade agrícola em grandes extensões do Sudoeste de Goiás e esta utilização ter sido estimulada pelo governo nas décadas anteriores, as mesmas foram denominadas como áreas de preservação permanente desde 2007 no Estado de Goiás (Lei nº 16.153, de 26/10/2007). Assim, o estudo do impacto da agricultura nestas áreas é de fundamental importância para avaliar o manejo futuro das áreas já inseridas no processo produtivo.

2.2 - Comportamento da matéria orgânica do solo

A manutenção dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) é importante para a qualidade do solo, pois influencia as características físicas, químicas e biológicas do solo. A MOS é a principal responsável pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos tropicais (Ciotta et al., 2003), além de atuar na redução de elementos tóxicos, melhorar a agregação do solo (Souza et al., 2010) e também ser fonte de energia e nutrientes à microbiota, aumentando a sua atividade, favorecendo a ciclagem de nutrientes (Balotta et al., 1998).

A fixação do gás carbônico atmosférico é efetuada pelos organismos fotossintéticos, como plantas, algas e bactérias autotróficas. Esta fixação finaliza-se na síntese de complexidade variável, podendo-se destacar: amido, celulose, ligninas, proteínas, óleo e outros (Lovato et al., 2004). Estes compostos retornam ao solo com os resíduos vegetais compondo a MOS e são utilizados pelos microrganismos como fonte de energia e nutrientes

Em ambientes naturais, o teor de carbono do solo é determinado, principalmente, pela temperatura, umidade e tipo de solo e vegetação (quantidade e qualidade). Em

áreas sob cultivo, os estoques de carbono e nitrogênio são influenciados também pelo manejo adotado (Bayer et al., 2004). Assim, o manejo atua modificando as entradas e saídas de carbono do solo para a atmosfera em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais cultivadas, da adubação, dos procedimentos de colheita, do preparo do solo e do manejo dos restos culturais (Rangel & Silva, 2007).

Com a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas há alteração desses sistemas complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis (Canellas et al., 2003; Dias et al., 2007). Essa perturbação ao solo provoca variações nos estoques de MOS (Portugal et al., 2008), sendo que em solos com intenso revolvimento, que implica no rompimento dos macroagregados, há exposição da MOS protegida. Isso acarreta aumento da atividade microbiana, pela menor proteção dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas, além de perdas por erosão hídrica reduzindo os estoques de MOS (Souza et al., 2009; Rangel & Silva, 2007).

Em regiões tropicais, por apresentar temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos, há um aumento da atividade microbiana do solo propiciando rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados ao solo. Assim, nos ecossistemas em que a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas com intenso revolvimento, os estoques de MOS podem ser reduzidos logo nos cultivos iniciais (Corazza et al., 1999). Desta forma, mudanças no ambiente solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio deste reservatório, colaborando para o aumento das emissões de CO₂. Assim, a adoção de manejos com o mínimo revolvimento é crucial para atenuar as consequências do efeito estufa além de melhorar a qualidade do solo, haja vista que cerca de 2/3 das emissões de carbono de todo o Brasil provem das atividades agropecuárias sendo responsável pela emissão de cerca de 90 toneladas por ano (Mct, 1999).

Apesar do solo ser considerado um dos maiores reservatórios de carbono, há limites de acúmulo na forma de MOS, para cada tipo de solo. No entanto, existe uma relação direta entre os teores de argila de um solo e os conteúdos de MOS, o que indica que solos argilosos apresentam maior capacidade de acumular carbono (Ciotta et al., 2003). Neste contexto a adoção de sistemas conservacionistas como o plantio

direto (PD) na região dos cerrados, onde os Latossolos representam 50% (Embrapa, 1999) de sua extensão, se torna uma alternativa para fixação de carbono no solo contribuindo para a mitigação de gases do efeito estufa, além de aumentar a qualidade do sistema solo.

A adoção do PD, onde o solo é pouco revolvido e os resíduos vegetais são mantidos sobre a superfície do solo, fazem desse sistema uma ferramenta eficaz no armazenamento de C e de N no solo, promovendo elevação dos seus estoques. Esse aumento é ocasionado principalmente por dois fatores: proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana favorecida pela oclusão do carbono nos agregados do solo e a proteção química dos compostos, por meio da interação desses com os minerais e cátions do solo, dificultando a sua oxidação (Rangel & Silva, 2007). Esse tipo de manejo é considerado o sistema de preparo mais eficiente em recuperar e manter a estrutura do solo (Amado et al., 2001; Bayer et al., 2004; Portugal et al., 2008). Para isso, se torna importante a inclusão de rotação de culturas, utilizando plantas que aportem resíduos com relação C:N distintas, tanto aportando C como N no sistema (Bayer et al., 2000).

Desta forma, práticas agrícolas que contribuem para um equilíbrio positivo da matéria orgânica, como o PD, são essenciais para o manejo da fertilidade do solo. Neste contexto, busca-se um equilíbrio neutro ou positivo na dinâmica da MOS, no qual as quantidades de resíduo adicionadas ao solo devem ser iguais ou maiores que a quantidade decomposta (Rangel & Silva, 2007). Baseado nisso, a complexidade, tanto no entendimento como na mensuração desta dinâmica dão importância a este tipo de abordagem. Ademais, o efeito tempo, influenciando processos físico-químicos que regem o equilíbrio da MOS também deve ser contemplado, sendo crucial para o entendimento destes processos no sistema solo.

O comportamento da matéria orgânica em alguns ambientes, com características intrínsecas, como o alagamento, pode ser diferente. Desta forma, nesses ambientes propensos ao alagamento, o oxigênio é consumido pelos microrganismos aeróbicos predominando o metabolismo anaeróbico. O metabolismo anaeróbico fornece menor energia para os microrganismos do que a respiração aeróbica, sendo dependentes de receptores de elétrons como íon Fe, Mn e sulfato, resultando na oxidação parcial do

carbono, tendendo a maiores acúmulos (Silva et al., 2008; Nascimento et al., 2009). Assim, em solos de várzea cultivados com arroz em experimento de longa duração, não houve diferenças entre plantio convencional e plantio direto, ficando evidente a redução da atividade microbiológica nestes ambientes hidromórficos (Nascimento et al., 2009).

2.3 Frações da matéria orgânica do solo

Os estoques da MOS são utilizados em diversos trabalhos sobre a influência de sistemas de manejo do solo (Rangel & Silva, 2007; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011). No entanto, podem não ser sensíveis às variações que ocorrem em curto período de tempo, sendo frequente a utilização das frações mais lábeis da MOS afim de discriminar melhor o manejo adotado ao solo (Bayer et al., 2004; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011). Os compartimentos da MOS são divididos em: MOS lábil, MOS protegida estruturalmente e por colóides. A MOS lábil é composta de resíduos de plantas e da fauna edáfica em diversos estados de decomposição e com grande diversidade de substratos, sendo mais prontamente decomponíveis. Assim, a MOS lábil é um compartimento transitório da MOS, entre os resíduos de plantas recém depositados sobre o solo e o carbono orgânico mais humificado e estabilizados no compartimento da MO protegida (Bayer et al., 2001).

Os métodos de fracionamento da MOS são utilizados para melhor entendimento da natureza, distribuição, tempo de residência, funções e sensibilidade de cada fração em indicar a qualidade do manejo empregado. Nesse sentido, os métodos de fracionamento físicos da MOS podem ser classificados como métodos granulométricos (Cambardella & Elliott, 1992), densimétricos (Conceição et al., 2007) ou uma mistura de ambos (Roscoe & Machado, 2002). Os métodos densimétricos baseiam na separação dos compartimentos da MOS com a utilização de um líquido denso. Assim, a fração mais pesada que o líquido, sendo utilizado usualmente o politungstato de sódio na densidade de aproximadamente $2,0 \text{ g cm}^{-3}$, é denominada matéria orgânica na fração pesada e a fração sobrenadante é denominada matéria orgânica na fração leve (Conceição et al., 2007). Já os métodos granulométricos de fracionamento tem como princípio a separação da MOS por peneiramento. Assim, diversos trabalhos de

pesquisa utilizam este método de fracionamento por apresentar a vantagem de ser menos agressivo à estrutura da matéria orgânica do que os métodos químicos, além de ter maior simplicidade operacional (Cambardella & Elliott, 1992; Bayer et al., 2004; Conceição et al., 2005). A separação dos compartimentos da MOS são divididos em carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM) que é dado pela diferença entre COT e COP.

O COP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada a fração areia ($COP > 53 \mu m$). Esta porção é caracterizada como carbono orgânico particulado (COP), sendo partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência do solo está condicionada a proteção física desempenhada por agregados. Esta fração normalmente corresponde de 20 a 50% do C total do solo em regiões frias e/ou semi-áridas (Cambardella & Elliott, 1992). O teor desta fração em condições altamente favoráveis à decomposição biológica e humificação, como aquelas existentes em ambiente quente e úmido em regiões tropicais e subtropicais, normalmente representa uma parcela menor (10-20%) do conjunto total da MOS comparada com a encontrado em climas frios e/ou semi-áridas (Bayer et al., 200; Bayer et al., 2004). O COAM é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo ($COAM < 53 \mu m$), sendo a porção da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais com os óxidos de Fe e Al, estando protegida por mecanismos de proteção coloidal.

O COP mostrou-se sensível em experimento realizado em região de clima tropical, comparando diferentes sistemas de uso do solo e rotação de culturas (Bayer et al., 2004). Estes mesmos autores encontraram diferenças de 37 a 52% no estoque da COP na camada de 0 – 20 cm. Por sua vez, o aumento relativo no estoque de COT foi inferior a 10%. Também em um Latossolo Vermelho no Sul do Brasil, foi verificado que o COP se mostrou muito eficiente em discriminar as alterações no sistemas de manejo adotado ao solo, sendo que as diferenças entre o plantio direto e o plantio convencional foram de 88,3, 21,4 e 12,4% para a COP, COT e COAM respectivamente (Campos et. al., 2011), onde, a mudança relativa nos estoques do COP, foi sete vezes maior do que o COAM. As diferenças nessa fração do carbono ocorrem preferencialmente nas camadas superficiais do solo em sistemas que o revolvimento é mínimo, chegando a

apresentar diferenças de até 241% na camada de 0–2,5 cm (Bayer et al., 2004). Inversamente ocorre com o COAM, onde as maiores concentrações desta fração estão nas camadas mais profundas do solo (Campos et al., 2011).

Em um Argissolo sob pastagem natural no Sul do Brasil, foi verificado redução dos estoques da COP maior que 4 Mg ha^{-1} , quando a intensidade de pastejo ocorreu de forma acentuada, comparado à ausência de pastejo, em experimento de longa duração (Conte et al., 2011). Desta forma, pode-se notar que os estoques de COP constitui-se o indicador mais sensível dos sistemas de manejo do solo que o COT ou COAM, possibilitando verificar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo (Bayer et al., 2004; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011).

Os estoques de COP são dependentes das adições de C e N via resíduos vegetais (Bayer et al., 2001) e da proteção física exercida pelos agregados (Souza et al., 2010). Devido a essa dependência do aporte de C via resíduos vegetais para a manutenção da fração particulada, é comum encontrar grande variação nos estoques de carbono deste compartimento (Bayer et al., 2004; Souza et al., 2009).

A proteção física ao COP normalmente é exercida pelos macroagregados, portanto, no sistema plantio direto, a maior preservação dos agregados do solo pelo não revolvimento reflete em maior acúmulo desta fração do que em sistemas manejados sob plantio convencional. Além da agregação, a textura do solo influencia a capacidade do solo em proteger a COP, sendo esta capacidade maior em solos argilosos do que em solos arenosos (Roscoe & Machado, 2002).

Há três formas de proteção da MOS, sendo que o maior número de interações entre elas, promove maior acúmulo de carbono no solo. A fração lábil se acumula no solo devido à recalcitrância e à proteção física da MOS. A recalcitrância é uma característica intrínseca do composto, dada pela sua estrutura possuir anéis aromáticos ou compostos, que são mais resistentes à decomposição, pois possuem uma forte energia de ligação entre seu anel aromático. A segunda forma de proteção é a barreira física que impede o acesso dos microrganismos e suas enzimas ao composto, sendo os agregados responsáveis por esse impedimento. Quando há o rompimento dos agregados, esta matéria orgânica antes protegida irá tornar mais acessível aos microrganismos, que resultará na decomposição deste material.

O carbono associado aos minerais (COAM) possui três mecanismos de proteção da MOS, além dos já citados anteriormente, possui o mecanismo de associação com a superfície dos minerais de argila. Mesmo em que haja acessibilidade ao material, haverá inacessibilidade à microbiota, devido à grande força de ligação entre a MOS e os grupos funcionais dos minerais, por este motivo as práticas de manejo dificilmente afetam este compartimento da MOS. Devido a essa ligação é comum que solos argilosos bastante intemperizados ricos em óxidos de Fe e Al apresentem maior conteúdo de MOS quando comparado aqueles solos arenosos (Roscoe & Machado, 2002).

2.4 – Índice de manejo de carbono

O índice de manejo de carbono proposto inicialmente por Blair et al. (1995) é uma ferramenta que permite avaliar o manejo adotado ao solo. Esse índice leva em consideração as variações no estoque de carbono e na labilidade desse carbono, e utiliza um sistema de manejo considerado como referência, para o qual o IMC é definido como 100. O sistema definido como referência pode ser uma área de vegetação natural, solo em estado de degradação sob manejo inadequado, ou qualquer outro sistema que seja considerado como o padrão para o estudo. Esse método apresenta alguns entraves devido à dificuldade de calibração para cada tipo de solo, sendo necessários testes a fim de identificar a melhor concentração do KMnO_4 na determinação da labilidade da MOS, além cuidados com manuseio do reagente, devido à exposição a luz, limitando muitas vezes o seu emprego, tornando este método trabalhoso. Em função dos obstáculos da metodologia com oxidação por KMnO_4 , Diekow et al. (2005), propôs a determinação da labilidade do carbono pela fração leve ($> 1,8 \text{ g cm}^{-3}$) ou da fração particulada ($> 53 \text{ micrometros}$), uma vez que são componentes lábeis da matéria orgânica. A adaptação realizada por Diekow et al. (2005) apresentou resultados satisfatórios, conseguindo detectar mudanças entre os tipos de manejo adotados ao solo.

A fim de verificar a metodologia proposta por Diekow et al. (2005), Vieira et al. (2007), avaliando diferentes sistemas de culturas em estudo de longo tempo no Sul do

Brasil, utilizou também frações granulométricas comparando com a metodologia descrita por Blair et al. (1995) em que utiliza-se o permanganato de potássio. Estes autores encontraram resultados satisfatórios, utilizando frações granulométricas da matéria orgânica, conseguindo ser uma ferramenta sensível para avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de culturas.

Com as adaptações propostas o índice de manejo de carbono é obtido pelo produto entre o índice de estoque de carbono (IEC) e o índice de labilidade do carbono (ILC), sendo representado pela equação abaixo:

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100$$

Onde:

IEC = estoque de COT do tratamento (Mg ha^{-1}) / estoque de COT da referência (Mg ha^{-1}).

ILC = Lab trat / Lab ref

Lab trat = Labilidade do carbono do tratamento

Lab ref = Labilidade do carbono da referência

Lab = Estoque de C lábil / Estoque de C não lábil

C lábil = carbono orgânico particulado ou carbono orgânico na fração leve.

C não lábil = diferença entre o carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado ou carbono orgânico na fração leve.

Em função de resultados positivos desta metodologia, alguns estudos recentes foram realizados utilizando as frações lábeis da matéria orgânica para determinação do IMC, detectando diferenças entre os diferentes manejos adotados ao solo (Souza et al., 2009; Conte et al., 2011). O IMC permite verificar, pela alteração da labilidade do carbono e do estoque de COT, se o sistema está tendendo à sustentabilidade ou à degradação (Conte et al., 2011). Assim, Diekow et al. (2005) avaliando diferentes coberturas em um Argissolo no sul do Brasil, verificaram que a sucessão de milho e feijão guandú apresentou IMC 272% maior que o solo descoberto, aumentando ainda

mais quando ocorreu aplicação de nitrogênio mineral, equivalendo a uma elevação de 417% em relação ao mesmo solo descoberto. Em estudo sobre um Argissolo sob pastagem natural no Sul do Brasil, reduzindo o IMC com a redução da oferta de forragem, obtendo 39,7% do IMC na menor oferta de forragem, o que indicou perda da qualidade do solo nesses sistemas de manejo, apresentando riscos para a sustentabilidade do sistema (Conte et al., 2011). Desta forma, pode-se notar que o IMC é uma ferramenta eficaz em indicar a qualidade do sistema de uso e manejo do solo.

3 - REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; & BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-Maranhão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 1035-1044, 2007.

BALOTA E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, v. 24, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society American Journal**, v. 65, p. 1473-1478, 2001.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.46, p. 1459-1466, 1995.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, B. H. C.; AMADO, T. J. C. BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 805-817, 2011.

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

CASTRO JÚNIOR, P.R. **Dinâmica da água em campos de murundus do Planalto do Parecis**. Tese de doutorado. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J.; A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, 2003.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. Eficiência do politungstato de sódio no fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1301-1310, 2007.

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

CONTE O.; WESP, C.L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.579-587, 2011.

CONTE O.; WESP, C.L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.579-587, 2011.

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

DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B. & BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 901-911, 2007.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, v.268, p. 319–328, 2005.

DUARTE, M. N.; CURTI, N.; PEREZ, D. V.; KAMPF, N. CLAESSEN, M. E. C. mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1237-1250, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

LOVATO, T.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. 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.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFERS, C. E. G. R.; SILVA, E.; SOARES, V. P.; CORRÊAS, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. Relações Solo-Geoambiente em áreas de ocorrência de Ipucas na planície do Médio Araguaia – Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. **Efeito Estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima**, Cartilha. Brasília: 1999. 38p.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n6, p. 868-878. 2002.

NASCIMENTO, P. C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L. F.; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. M. M.; MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1821-1827, 2009.

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**, v. 32, p. 2091-2100, 2008.

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

RESENDE, I. L. M.; ARAÚJO, G. M.; OLIVEIRA, A. P. A.; ÁVILA JÚNIOR, R. S. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. **Acta Botânica Brasileira**. v. 18, p. 9-17, 2004.

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

SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, 2 ed. 525-543, 2008.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavourapecuária em plantio direto, submetido a

intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; OLIVEIRA, E. V. F.; MARTINS, A. P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1365-1374, 2010.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1708- 1714, 2009.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. & HE, Z.L. Carbon management index base don physical fractionation of soil organic matter in na Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 96, p. 195-2004, 2007.

CAPÍTULO 2: IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO EM SOLO SOB COVAL NO CERRADO

Diego Oliveira Ribeiro¹, Edicarlos Damacena de Souza², Leonardo Ricardo Rotta¹, Marco Aurélio Carbone Carneiro², Helder Barbosa Paulino² & Cimélio Bayer³

RESUMO

A conversão de ecossistemas naturais para a atividade agrícola resulta numa entropia inicial do sistema afetando a dinâmica da matéria orgânica do solo, sendo necessários estudos sobre os impactos da atividade agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da conversão de áreas nativas de coval para a atividade agrícola, em plantio direto, sobre a matéria orgânica do solo e suas frações. O estudo foi desenvolvido em áreas pertencentes à Fazenda Boa Vista, em Plintossolo Háplico, submetido a uma cronossequência de 7, 11 e 16 anos de cultivo, manejadas sob sistema de plantio direto, e uma área referência caracterizada pelo topo e base dos murundus. Os estoques de carbono orgânico total foram semelhantes, a área nativa de topo ($45,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), com 7 anos ($38,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) de implantação do plantio direto, tendo maior tendência de elevação com o aumento de condução deste sistema de manejo. Entretanto quando comparado à base dos murundus ($58,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) ocorre uma redução dos estoques de carbono por apresentar condições de umidade diferentes dos sistemas agrícolas e do topo dos murundus. As fração do C-MOP, recuperou os estoques com apenas 7 anos de PD. O diâmetro médio ponderado dos agregados acompanhou os estoques de matéria orgânica do solo, apresentando 2; 2,1; 2,4; 2,4; e 2,8 mm para os tratamentos PD7, PD11 PD16 CT e CB. O plantio direto igualou os estoques de carbono a área nativa de topo com 7 anos de sua condução elevando a qualidade da matéria orgânica tendendo aumentar com maior tempo de condução.

Recebido para publicação em / / .

¹ Mestrando em Produção Vegetal no Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí. Rod. BR 364, km 192. Jataí/GO. CEP: 75800-000. E-mail: diegoribe@yahoo.com.br, leonardorotta@hotmail.com

² Docente no Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí. E-mail: edicarlos@pq.cnpq.br, carbonecarneiro@pq.cnpq.br, helderlino51@yahoo.com.br

³ Docente do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

Termos de indexação – Plantio direto, cronosequência de cultivos, índice de manejo de carbono.

SUMMARY: IMPACT ON AGRICULTURE IN SOIL ORGANIC MATTER STOCKS IN THE “COVAL SOIL” UNDER CERRADO

The conversion of natural ecosystems for agriculture results in the initial entropy of the system affecting the dynamics of soil organic matter, studies are needed on the impacts of agricultural activities. The purpose of this study was to evaluate the impact of conversion of native forests of Coval for agriculture, in no tillage on soil organic matter and its fractions. The study was conducted in areas belonging to the Fazenda Boa Vista in Haplic Plinthosol, subjected to a chronosequence of 7, 11 and 16 years of cultivation, managed under no-tillage system, and a reference area characterized by top and bottom of the murundus. The carbon stocks were similar to the native top ($45,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) with 7 years of implementation no tillage ($38,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) having a greater tendency to increase with the increase of conducting this management system. The fraction of C-MOP, stocks recovered with just seven years of PD. The weighted mean diameter of soil aggregates followed the stocks of soil organic matter, with 2, 2.1, 2.4, 2.4, and 2.8 mm for the PD7, PD11 PD16 CT and CB. No-tillage carbon stocks equaled the native range top with 7 years of his conduct by raising the quality of organic matter tends to increase with more time to drive.

Index terms: no-tillage, chronosequence of cultivate, carbono manegement index.

INTRODUÇÃO

No estado de Goiás o Cerrado ocupa uma área de 34 milhões de hectares, sendo predominante os Latossolos, com 52%, seguidos por Argissolos, Neossolos, Cambissolos e Plintossolos, correspondendo à 15, 13, 12 e 4% respectivamente (Sepin, 2005). No Sudoeste do estado de Goiás há presença de uma grande porção de

Plintossolos, que são constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário.

Os Plintossolos muitas vezes estão sob paisagens denominadas de “campos de murundus ou coval” que possui elevações denominadas murundus com tamanho que podem chegar a 20 metros de diâmetro e 2 metros de altura (Motta et al., 2002). Nesses ambientes uma característica comum é o alagamento durante parte do período chuvoso na parte baixa do terreno, o que torna esse ecossistema extremamente importante para a manutenção dos mananciais. Esse alagamento pode advir de má drenagem do solo ou ainda devido ao lençol freático estar próximo à superfície (Motta et al., 2002; Resende et al., 2004). Este tipo de solo é coberto por vegetação lenhosa do cerrado no topo dos murundus e um tipo de gramínea rasteira em sua base sendo resistente ao alagamento intermitente.

Devido à contribuição das áreas sob murundus para a manutenção do nível dos lençóis freáticos e de representar um ecossistema de extrema fragilidade, a partir de 2007, por força de Lei (Lei nº 16.153, de 26/10/2007), áreas sob murundus foram consideradas de preservação permanente. No entanto, pouco se conhece da dinâmica do carbono nas áreas incorporadas ao sistema produtivo anteriormente a essa lei.

Para a incorporação dessas áreas aos sistemas agrícolas foram requeridos sistemas de preparos do solo em que são utilizados maquinários pesados para o nivelamento do terreno e instalação de drenos, a fim de se evitar o alagamento, além de correção e adubação do solo. Com a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas há alteração desses sistemas complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis (Canellas et al., 2003; Dias et al., 2007; Portugal et al., 2008). Essa perturbação provoca alterações nos estoques de carbono e nitrogênio do solo (Portugal et al., 2008), sendo que em solos com intenso revolvimento, que implica no rompimento dos macroagregados, há exposição da matéria orgânica protegida dentro dos agregados. Isso acarreta aumento da decomposição dessa matéria orgânica pelos microrganismos e perdas por erosão com consequente redução nos seus estoques (Rangel & Silva, 2007; Leite et al., 2010).

Em regiões tropicais, por apresentar temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos, há um aumento da atividade microbiana do solo propiciando rápida

decomposição dos materiais orgânicos depositados ao solo. Assim, quando ecossistemas em que a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas com intenso revolvimento, os estoques de carbono orgânico podem ser reduzidos logo nos cultivos iniciais (Leite et al., 2010). Uma alternativa seria a implantação do plantio direto, onde o solo é pouco revolvido e os resíduos vegetais são mantidos sobre a superfície do solo. Há relatos de que esse sistema é uma ferramenta eficaz no armazenamento de C no solo, promovendo a sua recuperação (Siqueira-Neto et al., 2010; Vezzani & Mielniczuk, 2011) e até mesmo a elevação dos seus estoques (Leite et al., 2010). Esse aumento é ocasionado principalmente por dois fatores: proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana favorecida pela oclusão do carbono nos agregados do solo e a proteção química dos compostos, por meio da interação desses com os minerais e cátions do solo, dificultando a sua oxidação (Siqueira-Neto et al., 2010). Apesar de diversos trabalhos evidenciarem que o plantio direto recupera os estoques de carbono no solo, Carvalho et al. (2010), apontaram que mesmo após 21 anos de plantio direto não houve a recuperação total dos estoques de C no solo na camada de 0 a 30 cm do solo, ficando evidente a divergência de resultados com trabalhos nesse sistema de manejo.

Os estoques da MOS são utilizados em diversos trabalhos sobre a influência de sistemas de manejo do solo (Rangel & Silva, 2007; Portugal et al., 2008; Carvalho et al., 2010; Siqueira-Neto et al., 2010). Muitas vezes somente a utilização dos estoques de carbono podem não ser sensíveis às variações que ocorrem em curto período de tempo, sendo frequente a utilização das frações mais lábeis da matéria orgânica, afim de discriminar melhor o manejo adotado (Bayer et al., 2004; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011). Outra ferramenta utilizada recentemente, que permite avaliar o manejo é através do índice de manejo de carbono (IMC). Este índice permite avaliar a influência dos sistemas de manejo adotado na sustentabilidade do solo, levando em consideração os estoques e a labilidade da MOS (Diekow et al., 2005; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011).

Com isso, áreas sem interferência antrópica apresentam maiores estoques de carbono e nitrogênio em relação às áreas cultivadas. Já entre as áreas cultivadas há

vários anos sob plantio direto ocorre aumento nos estoques de C, N e suas frações. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da conversão de uma área nativa de coval para a agricultura nos estoques de matéria orgânica e na sua labilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Boa Vista, cerca de 60 km do município de Jataí na microbacia do Rio Ariranha, localizado no Sudoeste do Estado de Goiás (17°57'59"S e 52°04'35" W). O solo da área é classificado como Plintossolo Háplico de textura argilosa (450, 50 e 500 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente). O clima da região, segundo a classificação de Koppen é Cw, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definida. A temperatura média é de 22 °C e a precipitação anual varia entre 1600 e 1800 mm, com duas estações bem definidas, sendo uma quente e chuvosa, de outubro a abril, e outra com clima mais ameno e seco (Figura 1).

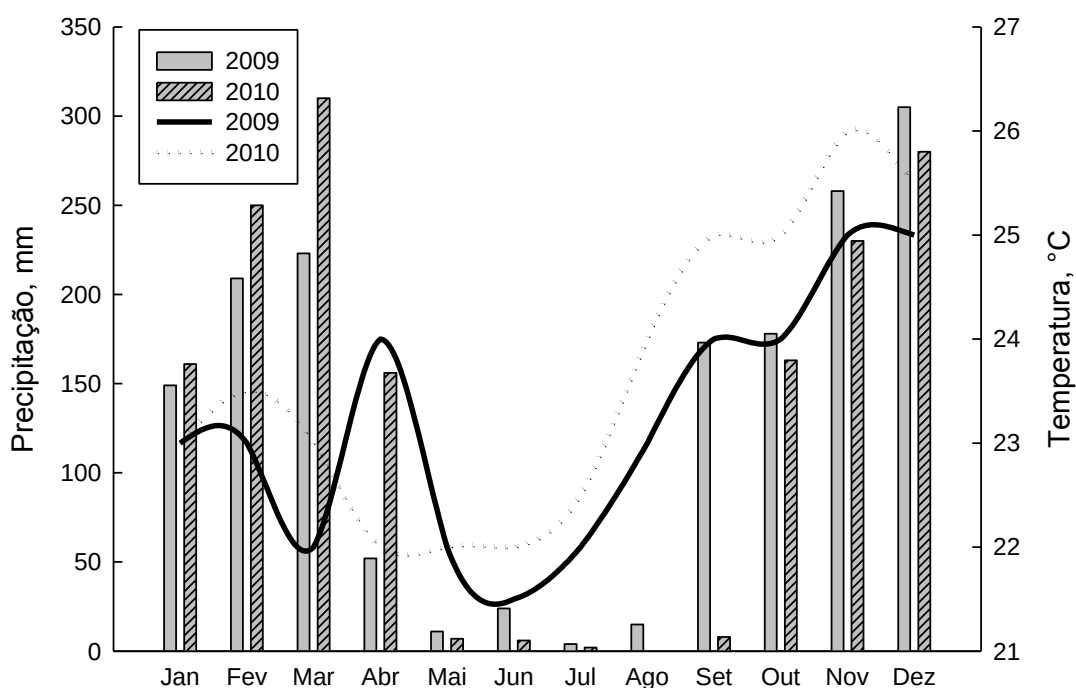


Figura 1. Precipitação e temperatura entre janeiro de 2009 e outubro de 2010 no município de Jataí. Fonte: Estação Metereológica da Universidade Federal de Goiás-Campus Jataí. Numeração de 1-12 indica os meses do ano. Barras em preto indicam a precipitação em 2009 e

barras em cinza a precipitação em 2010. Linhas contínuas indicam a temperatura em 2009 e linhas pontilhadas a temperatura em 2010.

Os tratamentos foram divididos conforme as épocas de conversão para o sistema agrícola, em que as áreas apresentavam 7 (PD7), 11 (PD11) e 16 anos (PD16) conduzidos em sistema de plantio direto. Além dessas áreas, foi utilizada uma área de referência com coval nativo sem interferência antrópica. Na área de referência a amostragem foi realizada no topo dos murundus (CT) e na base entre estes (CB). As coletas foram separadas em função da disparidade observada entre o relevo, tipo de vegetação e também das condições de umidade entre ambos. Na base dos murundus ocorre alagamento intermitente e uma espécie de gramínea característica, já no topo do murundus há presença de espécies típicas do cerrado.

Para a conversão das áreas nativas para a atividade agrícola, inicialmente, no período seco ocorreu queimada da vegetação presente e posteriormente houve o preparo do solo com arado. Para o nivelamento da área, os murundus foram inicialmente decapitados, com lâminas frontais e de arrasto, removendo o solo para entre estes, ocorrendo em seguida escarificação/subsolagem de toda a área e aplainamento do terreno com grade niveladora. Para o escoamento da água foram construídos drenos com espaçamento de 100 m entre eles. O histórico dos tratamentos está descrito no Quadro 1.

Quadro 1. Históricos de cultivos de um Plintossolo Háptico sob coval no Cerrado

Tratamentos	Histórico
Coval	Trata-se de uma área sem intervenção antrópica, com presença dos murundus. Os murundus podem chegar até 20 metros de diâmetro e 2 m de altura, onde há presença de vegetação típica de Cerrado <i>Stricto sensu</i> , arbustivas e graminóides, com grande variabilidade de espécies vegetais. Na base dos murundus ocorre a presença de uma graminóide em toda a extensão do terreno. Nesta área de base ocorre alagamento durante alguns meses de parte do período chuvoso do ano, correspondendo a uma área de 148 ha.
Área de 16 anos de Plantio	Esta área foi aberta no início dos anos 80 com o consórcio de arroz e pastagem sem utilização de corretivos e fertilizantes. No ano de

Direto	1994/1995 a mesma foi convertida para a atividade agrícola, aplicando 3 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico incorporado com arado e grade. Também foram aplicados 2 Mg ha ⁻¹ de gesso e 1 Mg ha ⁻¹ fosfato reativo (33% P ₂ O ₅). No ano agrícola de 2005/06 foram aplicados superficialmente 2,5 Mg ha ⁻¹ de calcário. As culturas implantadas em sucessão entre soja na safra e o milho na safrinha com produtividade aproximadamente de 3,4 e 6,0 Mg ha ⁻¹ , respectivamente. No período de safrinha dos anos de 95/96; 96/97; 05/06 e 08/09 esta área permaneceu em pousio.
Área de 11 anos de Plantio Direto	A conversão para a atividade agrícola ocorreu no período de 1998/99. Grande parte desta área encontra-se com pastagem e pequena porção ainda com vegetação nativa. Antes da utilização para a agricultura foram aplicados 6 Mg ha ⁻¹ de calcário, incorporado com arado e grade. No plantio inicial foram aplicados 0,6 Mg ha ⁻¹ fosfato reativo (33% P ₂ O ₅). Foram aplicados novamente calcário nos anos de 02/03 e 07/08 na quantidade de 3,0 e 2,0 Mg ha ⁻¹ , respectivamente. Foram utilizadas a sucessão de culturas entre soja na safra e milho na safrinha, com produtividade média de 3,4 e 6,0 Mg ha ⁻¹ , nos primeiros anos de cultivo, exceto os anos agrícolas de 05/06; 06/07; 08/09 permanecendo a safrinha em pousio e no ano 07/08, onde foi cultivado milho em safra.
Área de 7 anos de Plantio Direto	A conversão para a atividade agrícola ocorreu no ano de 2003/2004. A mesma encontrava-se sob campus de murundus, onde foram aplicados inicialmente 5,0 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico incorporados com arado e grade niveladora. Outras duas calagens foram realizadas nos anos de 05/06 e 08/09 com a aplicação de 1,5 Mg ha ⁻¹ de calcário dolomítico superficialmente. Nesta área ocorreu sucessão entre as culturas de soja na safra e milho na safrinha milho, com produtividade média de 3,1 e 4,5 Mg ha ⁻¹ para soja e milho respectivamente nos anos de 06/07 e 09/10. No primeiro ano de cultura na safrinha foi utilizado o milheto, já nos anos de 04/05 e 05/06 foi utilizado a cultura do sorgo, ficando em pousio na safrinha os anos de 07/08 e 08/09.

Em cada área estudada demarcaram-se vários polígonos de 100x100 m, utilizando o programa computacional Surfer, formando um grid e, posteriormente, o programa selecionou 5 polígonos de forma aleatória. Dentro de cada polígono foram retirados 5 subamostras, representativas da área perfazendo uma amostra composta. Os

dados foram analisados como um delineamento inteiramente casualizado, com cinco pseudo-repetições em cada área avaliada. O uso de pseudo-repetições é um procedimento comumente utilizado em estudos deste tipo e é descrito em detalhes por Hurlbert (1984). As áreas estão localizadas uma do lado da outra com condições similares de solo, topografia e clima, diferindo apenas no período de tempo de implantação e condução dos sistemas de manejo do solo.

Para as coletas de solo, realizada em setembro de 2010, foram abertas trincheiras de 30 x 20 x 25 cm e com auxílio de uma espátula as amostras de solo foram retiradas nas camadas de 0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 7,5; 7,5 a 10; 10 a 15 e 15 a 20 cm e acondicionadas em sacos plásticos a fim de se avaliar o carbono, nitrogênio e suas frações. Para a avaliação da agregação do solo as amostras foram coletadas retirando-se blocos de solo indeformado nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, com posterior envolvimento em filme de PVC para manter a estabilidade da estrutura, colocados em sacos plásticos, identificados e acondicionados em caixas de papelão para transporte. As amostras deformadas e indeformadas foram transportadas até o laboratório, em que as deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm para posterior realização das análises. No laboratório as amostras indeformadas foram retiradas do filme de PVC, umedecidas e destorroados em seus pontos de fraqueza e colocadas para secagem ao ar.

O fracionamento físico granulométrico foi realizado conforme metodologia de Cambardella & Elliott (1992), onde foram pesadas 20 g de solo, colocados em fracos tipo “snap-cap” de 180 mL com 80 ml de solução de hexametáfostato de sódio (5 g L^{-1}). As amostras foram colocadas para agitar durante 16 horas em agitador horizontal a 160 batidas por minuto e, posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 53 μm , com auxílio de jatos de água. O material retido na peneira foi seco em estufa a 50°C até atingir peso constante e moído em gral de porcelana. Os teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) foram analisados em analisador Shimadzu TOC-V CSH. Os teores de nitrogênio total (NT) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) foram determinados pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Os teores de C orgânico associados aos minerais (COM) e de N associados aos

minerais (NM) foram obtidos pela diferença entre os valores totais do solo e aqueles obtidos nas frações particuladas após a dispersão ($COM = COT - COP$; $NM = NT - NP$).

Os estoques de COT foram calculados utilizando dois procedimentos: 1) em camada equivalente de solo e; 2) em massa equivalente de solo. Já os estoques de NT, COP e N-MOP foram calculados em massa equivalente de solo. O método de camada equivalente leva em consideração a densidade do solo e a espessura da camada avaliada. O método da massa equivalente leva em conta a massa do solo dos tratamentos em relação ao solo à menor massa, o qual é tido como referência (Ellert & Bettany, 1995). Desta forma, o cálculo dos estoques foram baseados na densidade de solo da área do coval topo, quais sejam: de $0,85 \text{ kg dm}^{-3}$, $0,98 \text{ kg dm}^{-3}$ e $0,95 \text{ kg dm}^{-3}$ para as camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. Para o cálculo do estoque total de C e N e das frações na camada de 0 a 20 cm foi realizada a soma dos estoques em cada camada amostrada.

O cálculo do Índice de Manejo de Carbono (IMC) e de seus componentes foi realizado conforme proposta original de Blair et al. (1995) com as adaptações de Diekow (2005), o qual considera a MOP como representando a fração lábil da MOS e a matéria orgânica associada aos minerais como a não lábil:

$$IMC = IEC \times ILC \times 100$$

Onde: $IEC = \text{estoque de carbono orgânico total do tratamento} / \text{estoque de carbono orgânico total da referência}$;

$ILC = \text{Labilidade do tratamento} / \text{Labilidade da referência}$;

Labilidade = $\text{estoque de carbono orgânico lábil} / \text{estoque de carbono orgânico não lábil}$.

Para determinação do tamanho dos agregados utilizou-se o método descrito por Kemper & Chepil (1965), modificado por Silva & Mielniczuk (1997), consistindo na separação dos agregados em classes de tamanho. A partir desses valores obteve-se o diâmetro médio ponderado, sendo calculado pela seguinte equação:

$$DMP = \left[\frac{\sum (AGR_i \times d_i)}{\sum AGR} \right]$$

Onde: d_i = diametro medio da classe i , obtido por $[(\text{malha superior} + \text{malha inferior})/2]$; $AGR_i = [mAGR_i / AGR]$. AGR_i = (percentagem de agregados da classe i / massa total de agregados).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey a 5% para a separação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores totais e frações de carbono e nitrogênio no perfil do solo

O teor de carbono foi influenciado pelo manejo adotado em todas as profundidades analisadas, sendo que os maiores teores foram observados no CB, com exceção à última camada que não houve diferença entre os tratamentos (Figura 1 a). Até a profundidade de 7,5 cm o CB obteve os maiores teores de C e os demais tratamentos foram semelhantes entre si. Foi observado tendência de menores teores de C no PD7 foram sempre menores até a camada de 15 cm. O teor de N também foi influenciado pelo manejo adotado, apresentando comportamento semelhante ao teor de C, onde o tratamento CB foi superior na maioria das profundidades analisadas, exceto na camada superficial e na camada de 7,5 a 10 cm (Figura 1 b), em que não houve efeito dos sistemas de manejo e uso do solo. Já na camada de 15 a 20 cm o CB tem seu teor de N novamente aumentado.

Na camada de 0 a 2,5 cm, os teores de C-MOP foram maiores para o tratamento CB e os menores teores para o PD7 e CT (Figura 2 a). Na camada de 2,5 a 5 cm o maior teor de C-MOP foi encontrado no tratamento PD11 sendo menor para o tratamento CT. O maior teor de C-MOP na camada de 7,5 a 10 cm foi observado no tratamento PD16 e menor para o tratamento PD7. Os teores de Nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) apresentaram comportamento diferente do COT, C-MOP e NT (Figura 2 b). Na camada de 0 a 2,5 cm os maiores teores de N-MOP foram encontrados nos tratamentos PD11, CB e PD16. Na camada de 0 a 5 cm, o maior teor encontrado foi para o tratamento PD11. Na camada de 7,5 a 10 cm, os maiores teores foram encontrados no PD11 e os menores no PD7.

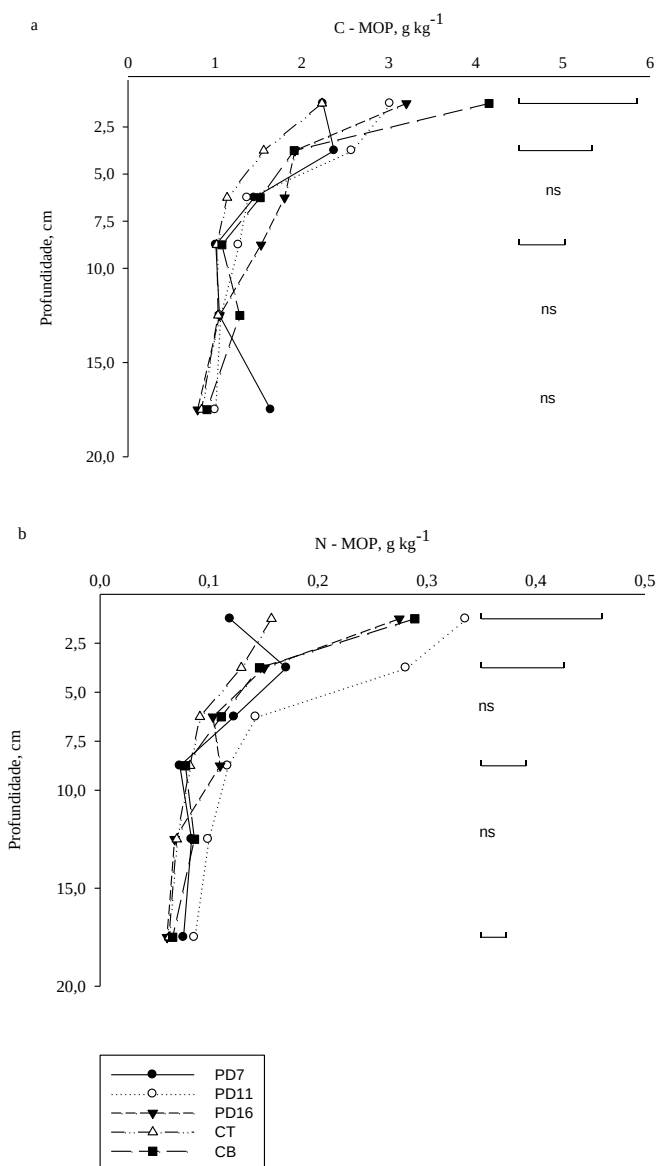


Figura 2. Teores de carbono particulado (a) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (b), em um Plintossolo Háplico sob coval no Cerrado. PD7= Plantio direto 7anos; PD11= plantio direto 11 anos; PD16= Plantio Direto 16 anos; CT = Coval Topo; CB= Coval Base. Ns= não significativo.

Pode ser observado que em quase todas as profundidades, os maiores teores de COT, C-MOP e NT, foram encontrados no tratamento CB sendo menor no PD7. O CB sofre inundação por parte do período chuvoso do ano, o que faz com que ocorra maior teor de carbono neste tratamento, mesmo quando comparado ao tratamento de CT que

também é uma área nativa, sendo diferente do CB por não sofrer inundação e por apresentar diferenças entre a vegetação destes dois tratamentos.

Verifica-se uma clara redução nos teores de COT, C-MOP e NT quando houve a conversão de áreas nativas de coval em agricultura, mesmo que conservacionista. Diversos estudos também demonstraram efeito negativo da conversão de áreas nativas em agricultura, com redução nos teores de C do solo (Carvalho et al., 2007; Diekow et al., 2009; Carvalho et al., 2010). Ainda, Bayer et al. (2006) e Carvalho et al. (2010) também observaram maiores teores de C na camada mais superficial com redução dos teores em profundidade, conforme observado no presente estudo.

Para os teores de COT, NT, C-MOP e N-MOP foi observado maiores concentrações nas camadas superficiais, criando um gradiente de concentração com as camadas mais profundas, reduzindo a concentração de C e N com o aumento da profundidade. Isso pode ter sido ocasionado pela deposição de material orgânico da parte área ocorrer em superfície e sistema radicular concentrar nos primeiros centímetros do solo. Além disso, não ocorre revolvimento do solo na área nativa e no plantio direto a perturbação ocorre apenas na linha de semeadura. A deposição de resíduos culturais sobre o solo e o aumento de MO na superfície resulta em efeitos importantes em relação à ciclagem de nutrientes, agregação, atividade microbiana, movimento e armazenamento de água, e troca de gases com a atmosfera, favorecendo a produção das culturas (Bayer et al., 2004).

Estoques totais e frações do carbono orgânico e nitrogênio

Com relação aos estoques de COT, houve correlação entre os métodos de massa equivalente e camada equivalente (Figura 3). No entanto, o método de camada equivalente superestimou o estoques de COT em 11,2, 12,5, 12,7 e 8,9 Mg ha⁻¹ para os tratamentos PD7, PD11, PD16 e CB, respectivamente, em relação ao método da massa equivalente de solo. Assim faz necessário a padronização dos métodos em que são calculados os estoques de carbono, pois com isso se permite avaliar diferentes tratamentos desconsiderando as diferenças entre as densidades de cada um tornando a comparação entre os tratamentos e diferentes estudos mais coerentes. Desta forma os

resultados de estoques de COT, NT, C-MOP e N-MOP, serão discutidos com base nos dados referentes à massa equivalente de solo.

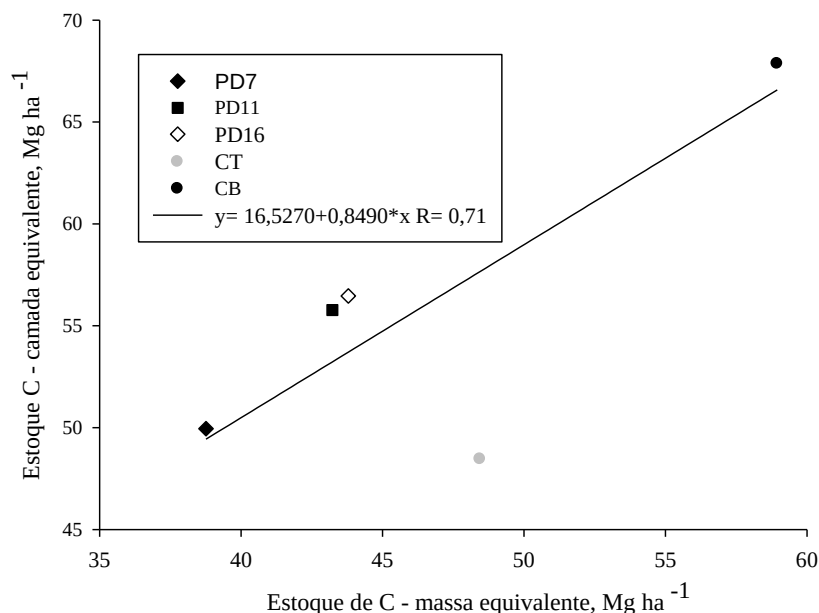


Figura 3. Relação entre estoques de carbono calculados por massa equivalente e estoques de carbono calculados por camada equivalente em um em um Plintossolo Háplico sob cronossequência de cultivos na camada de 0 a 20 cm. PD7= Plantio direto 7anos; PD11= plantio direto 11 anos; PD16= Plantio Direto 16 anos; CT = Coval Topo; CB= Coval Base.

Houve influencia dos sistemas de uso e manejo do solo sobre os estoques de carbono orgânico total (COT), onde os maiores estoques foram observados nas áreas nativas de CB (58,9 Mg ha⁻¹) e CT (45,9 Mg ha⁻¹) (Quadro 2), sendo as mesmas semelhantes. Porém, pode-se observar que o CB foi superior ao CT em 13 Mg ha⁻¹ (28%). As áreas submetidas à atividade agrícola foram semelhantes ao CT e inferior ao CB. Apesar de terem sido semelhantes, os estoques de carbono apresentaram uma redução com a conversão da área nativa de topo para a atividade agrícola em 7,1(15%) 2,7 (6%) e 2,1(5%) Mg ha⁻¹ para o PD7, PD11 e PD16, respectivamente, mesmo que em sistema conservacionista.

Quadro 2. Estoque de carbono orgânico total, carbono na matéria orgânica particulada e variação nos estoques de carbono em um Plintossolo Háplico sob coval no Cerrado

Sistemas de uso e manejo	COT	Variação		C-MOP	Variação		C-MOP/ COT
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	(%)	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	(%)	(%)
CT ⁽¹⁾	45,9 ab	-	-	2,2 b	-	-	5
CB ⁽²⁾	58,9 a	+13,0	+28	2,8 a	+0,6	+27	5
PD7 ⁽³⁾	38,8 b	-7,1	-15	2,5 ab	+0,03	+14	6
PD11 ⁽⁴⁾	43,2 b	-2,7	-6	2,7 ab	+0,5	+23	6
PD16 ⁽⁵⁾	43,8 b	-2,1	-5	2,8 a	+0,6	+27	6

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (1) Coval Topo. (2) Coval Base. (3) Plantio direto 7 anos. (4) Plantio Direto 11 anos. (5) Plantio Direto 16 anos.

A fração particulada do COT é tida como a porção mais sensível ao manejo (Portugal et al., 2008; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011; Vezzani & Mielniczuk, 2011), a qual mostrou influencia da conversão das áreas nativas para a atividade agrícola em seu estoque (Quadro 2), havendo maior sensibilidade quando comparados aos estoques de COT, também verificado por Bayer et al. (2004) avaliando plantio convencional e plantio direto com diferentes sistemas de cobertura do solo em região de clima tropical. Os estoques de C-MOP tiveram comportamento diferente dos estoques de COT. Os maiores valores de C-MOP encontrados foram para os tratamento CB e PD16, sendo ambos superiores ao CT em 0,6 Mg ha⁻¹ (27%). Já os tratamentos PD7 e PD11 foram semelhantes ao CT e ao PD16 e CB. Pode-se notar que há uma tendência de aumento nesta fração com o aumento de tempo de adoção do plantio direto quando comparado ao CT se igualando a área nativa de base com o maior tempo de adoção do PD.

Assim como os estoques de COT, os estoques de NT também foram influenciados pelo sistema de uso e manejo adotado. Os maiores teores encontrados foram nas áreas de CB (8,2 Mg ha⁻¹) e PD16 (6,9 Mg ha⁻¹), sendo as demais áreas inferiores ao CB e semelhantes ao PD16. Mesmo entre as áreas nativas há grandes diferenças entre elas,

com estoques de NT do tratamento CB superior em 41,3% ($2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) ao CT. Mesmo sendo semelhantes os estoques de NT entre os tratamentos CT e aqueles submetidos à atividade agrícola, há uma tendência de aumento quando ocorre a conversão das áreas nativas para a atividade agrícola com incremento de 0,3 (5%), 0,4 (7%) e 1,1 (19%) para os tratamentos PD7, PD11 e PD16 quando comparados ao tratamento CT. Os estoques de N-MOP tiveram comportamento diferente dos estoques de COT, C-MOP e NT, onde os maiores estoques foram encontrados no tratamento PD11, sendo os demais inferiores a este. O PD elevou os estoques de N-MOP $107 (63\%) \text{ kg ha}^{-1}$ em relação ao tratamento CT.

Quadro 3. Estoque de nitrogênio total, nitrogênio na matéria orgânica particulada (N-MOP) e variação nos estoques de nitrogênio em um Plintossolo Háplico sob coval no Cerrado

Sistemas de uso e manejo	NT	Variação		N-MOP	Variação		N-MOP/NT
	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	(%)	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	(%)	(%)
CT ⁽¹⁾	5,8 b	-	-	169 b	-	-	3
CB ⁽²⁾	8,2 a	+2,4	+41,3	206 b	+37	+22	2
PD7 ⁽³⁾	6,1 b	+0,3	+5	185 b	+16	+9	3
PD11 ⁽⁴⁾	6,2 b	+0,4	+7	276 a	+107	+63	4
PD16 ⁽⁵⁾	6,9 ab	+1,1	+19	199 b	+30	+18	3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (1) Coval Topo. (2) Coval Base. (3) Plantio direto 7 anos. (4) Plantio Direto 11 anos. (5) Plantio Direto 16 anos.

De acordo com Rangel & Silva (2007) em ambientes naturais, o teor de carbono é determinado pela temperatura, umidade e tipo de solo. Neste trabalho em uma mesma área nativa as condições de umidade e a vegetação são diferentes. No CB ocorre inundação do terreno por parte do período chuvoso e há presença de uma espécie característica de gramínea, fazendo com que a atividade microbiológica seja inferior e

tenha uma produção diferenciada de resíduos, o que faz com que o CB apresente os maiores estoques de CT e NT, uma vez que há uma relação constante entre carbono e nitrogênio (Souza et al., 2009). Quando ocorre o alagamento do solo, o oxigênio é consumido pelos microrganismos aeróbicos predominando o metabolismo microbiano anaeróbico. O metabolismo anaeróbico fornece menor energia para os microrganismos do que a respiração aeróbica, fazendo com que a degradação dos compostos orgânicos seja mais lenta e menos eficiente, possibilitando nestes ambientes anóxicos maior acúmulo de resíduos orgânicos (Silva et al., 2008; Nascimento et al., 2009). No CB há presença de uma gramínea característica destes ambientes em toda extensão do terreno, outro fator que provavelmente contribui para que os estoques de carbono sejam maiores neste tratamento, visto que as mesmas são eficientes em elevar os estoques de carbono no solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011; Carvalho et al., 2011). Além destes fatores citados, outra característica que pode contribuir para que os estoques de COT e NT sejam maiores no CB é a deposição de material vegetal do topo dos murundus na área de CB através do carreamento dos resíduos vegetais pela água da chuva e o vento.

Apesar das áreas agrícolas terem estoques de carbono inferiores ao CB as mesmas se igualaram ao CT, favorecidas pelas condições de umidade do terreno serem mais semelhantes entre as áreas cultivadas e este último tratamento. No período em que as áreas foram convertidas para a atividade agrícola, técnicas de drenagem foram realizadas, tornando possivelmente as áreas agrícolas em condições de umidade mais semelhante ao CT. Em área sob cultivo, o manejo atua modificando as entradas e saídas de carbono do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais cultivadas, da adubação, dos procedimentos de colheita, do preparo do solo e do manejo dos restos culturais (Rangel & Silva, 2007). Com o tempo máximo de condução do presente estudo em plantio direto (16 anos) não houve uma total recuperação dos estoques de carbono do solo, ao se fazer uma média dos estoques do CT e CB. Siqueira-Neto et al. (2010). Afirma que a adoção de PD com 12 anos de condução já se mostrou eficiente em recuperar os estoques de carbono do solo, sendo semelhantes aos estoques da área de cerrado, em diferentes Latossolos no estado de Goiás. Também em um Latossolo Vermelho-Amarelo no estado do Piauí, após condução de em sistema convencional, o PD mostrou eficiente

em recuperar os estoques de carbono, sendo superiores à área nativa de cerrado, com apenas dois anos de implantação deste tipo de manejo (Leite et al. 2010).

Os estoques de NT tiveram recuperação em seus estoques com 16 anos de condução do quando comparado ao CB e CT. Houve tendência de aumento dos estoques de NT com o tempo de adoção do plantio direto, o que faz com que os estoques de NT sejam aumentados em função do tempo de condução do PD pode ter sido ocasionado pela sucessão entre soja na safra e milho no período da safrinha, em função da adição de nitrogênio na cultura do milho por fertilizantes minerais.

Índice de manejo de carbono

A labilidade do C foi menor na área nativa para o tratamento referência (0,048) sendo os demais PD7, PD11 e PD16 apresentando os maiores valores (Quadro 4). O IMC aumentou sistematicamente com o tempo de adoção do PD em relação à área referência CT. O plantio direto foi superior a área referência em 12, 28 e 39 % para o PD7, PD11 e PD16, respectivamente.

Quadro 4. Labilidade do C (LC), índice de labilidade (ILC), índice de estoque de carbono (IEC) e índice de manejo de carbono (IMC) do solo, em um Plintossolo Háplico sob cronossequência de cultivos em Plantio direto, na camada de 0-20 cm

Sistemas de Manejo	LC	ILC	IEC	IMC
PD7 ⁽¹⁾	0,070 a	1,48 a	0,85 a	112 bc
PD11 ⁽²⁾	0,066 a	1,37 a	0,95 a	128 ab
PD16 ⁽³⁾	0,067 a	1,43 a	0,96 a	139 a
CT ⁽⁴⁾	0,049 b	1,00 a	1,00 a	100 c

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁽¹⁾ Plantio direto 7 anos; ⁽²⁾ Plantio direto 11 anos; ⁽³⁾ Plantio direto 16 anos; ⁽⁴⁾ Referência, com IMC 100 (Média entre as duas áreas nativas).

O aumento de carbono na fração lábil da matéria orgânica é importante para a

elevação da qualidade do solo (Diekow et al. 2005; Conte et al. 2011), por ser esta é a fração mais dinâmica da matéria orgânica do solo. Ela é fonte de energia para o sistema solo-planta, em que seu aumento promove melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, favorece as interações do sistema solo, contribuindo assim para a elevação de propriedades emergentes (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

A avaliação do Índice de Manejo de Carbono (IMC) permite verificar se um determinado sistema de manejo adotado está aumentando ou reduzindo a qualidade da matéria orgânica do solo: quanto maior o valor do IMC há melhorias em sua qualidade, e menor valor de IMC o inverso ocorre (Diekow et al., 2005; Vieira et al., 2007). Os resultados deste trabalho demonstraram que o plantio direto incrementou a qualidade da matéria orgânica do solo, elevando a sua qualidade quanto maior o tempo de adoção do PD, se igualando os estoques de COT e NT ao CT, elevando a qualidade da MOS. No entanto, os estoques de COT e NT são inferiores aos estoques do CB que tem como característica o alagamento da área, que o torna este ambiente diferente dos sistemas submetido a atividade agrícola e CT.

Agregação do solo

As maiores variações no diâmetro médio ponderado (DMP) foram verificadas na camada de 0 a 5 cm (Quadro 5), em que o PD7 sofreu redução de 30% em relação ao CB. Já o PD11 e PD16 promoveram incrementos no DMP, obtendo valores semelhantes ao CB e CT. Para as camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm não houveram influência dos usos e manejos no DMP. Ao se avaliar a camada de 0 a 20 cm verifica-se que há efeito do tempo de condução do PD no aumento do DMP. Após 16 anos de condução do PD o DMP foi semelhante ao CB e CT, o que não é observado em áreas mais recentemente implantadas em sistemas conservacionistas (PD7). Já o PD 11 obteve DMP inferior ao CB, mas semelhante ao CT, demonstrando o efeito do tempo na melhoria da agregação do solo.

Quadro 5. Diâmetro Médio Ponderado de agregados em um Plintossolo Háplico sob cronossequência de cultivos

Sistemas de uso e manejos	Profundidades (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	0 - 20
	-----mm-----			
CB ⁽¹⁾	2,7 a	2,9 a	2,8 a	2,8 a
CT ⁽²⁾	2,5 ab	2,3 a	2,4 a	2,4 b
PD7 ⁽³⁾	1,9 b	2,3 a	1,9 a	2,0 c
PD11 ⁽⁴⁾	2,0 ab	2,1 a	2,2 a	2,1 bc
PD16 ⁽⁵⁾	2,2 ab	2,4 a	2,6 a	2,4 ab

Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). (1) Coval Base. (2) Coval Topo. (3) Plantio direto 7 anos. (4) Plantio Direto 11 anos. (5) Plantio Direto 16 anos.

A diferença nos DMP's das áreas agricultáveis para o coval (coval base e coval topo) pode advir da presença de pastagem nativa nas áreas de referência, além dos maiores estoques de MOS (Quadro 3 e 4). No CB ocorre elevação do lençol freático ao longo do ano e somente uma espécie característica de gramínea sobrevive a esse fenômeno e por isso a mesma é muito abundante. Já no CT além da presença dessa gramínea nativa, se tem arbustos característicos do Cerrado. Salton et al. (2008) e Vezzani & Mielniczuk et al. (2011) relataram a influência das raízes de gramíneas na formação e estabilização dos agregados, o que explicaria, em parte, o fato do CB obter DMP superior aos demais tratamentos. Além disso, as diferenças no DMP apenas nas camadas superiores pode ser explicada pela maior concentração de carbono ocorrer principalmente nas camadas superficiais do solo (Figura 1). De acordo com Salton et al. (2008), sistemas de manejo que proporcionam elevação do DMP e promovem maiores índices de estabilidade de agregados (IEA) manterão a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como operações mecanizadas, além de maior resistência a perdas de solo por erosão. Ainda, nessa mesma linha observa-se correlação entre os estoques de COT e o DMP (Figura 4). Verifica-se que à medida que aumentou os estoques de carbono, houve acréscimos no tamanho dos agregados, com consequente aumento do DMP. Observa-se que os maiores valores de DMP encontrados foram nos CB>CT>PD16>PD11>PD7, acompanhando a elevação dos estoques de carbono, também verificado por outros autores (Salton et al., 2008; Vezzani

& Mielniczuk, 2011).

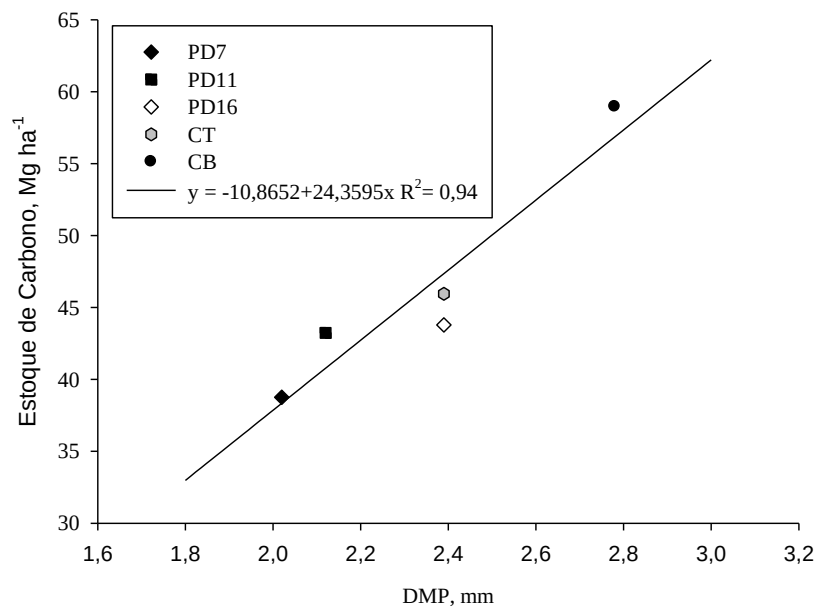


Figura 4. Relação entre estoque de carbono orgânico total (COT) em função do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água em um Plintossolo Háplico sob cronossequência de cultivos na camada de 0 a 20 cm. PD7= Plantio direto 7anos; PD11= plantio direto 11 anos; PD16= Plantio Direto 16 anos; CT = Coval Topo; CB= Coval Base.

CONCLUSÕES

1. O plantio direto promove aumento nos estoques de carbono orgânico total após sete anos de condução, se igualando a área nativa de coval no topo dos murundus, entretanto, não recuperou em relação à base que possui estoques muito elevados, por apresentar condições de umidade elevada.
2. O nitrogênio total se comportou de maneira semelhante ao carbono orgânico total, com exceção ao plantio direto por 16 anos que conseguiu recuperar os estoques aos níveis da área nativa na base do murundu.
3. Após 7 anos de condução do plantio direto já houve recuperação dos estoques de carbono orgânico particulado aos níveis originais;

4. Há um aumento no diâmetro médio ponderado dos agregados com o tempo de condução do plantio direto, recuperando aos níveis originais, apresentando correlação significativa com os estoques de carbono orgânico total;
5. O índice de manejo de carbono indica uma melhoria na qualidade da matéria orgânica com a adoção do plantio direto, porém seu uso deve ser realizado com cautela, pois não houve recuperação dos estoques de COT quando comparados ao CB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J., PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil Till. Res.*, 86:237-245, 2006.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 39:677-683, 2004.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, from agricultural systems. *Austr. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995. C. A. (Ed). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56:777-783, 1992.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:935-944, 2003.
- CARVALHO, J.L.N., ROUCCI, G.S., CERRI, C.E.P., BERNOUX, M., FEILG, B.J., WRUCK, F.J. & CERRI, C.C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Till. Res.*, 110:175-186, 2010.

- CONTE O.; WESP, C.L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, 35:579-587, 2011.
- DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B. & BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. R. Bras. Ci. Solo, 31: 901-911, 2007.
- DIEKOW, J., BAYER, C., CONCEIÇÃO, P.C., ZANATTA, J.A., MARTIN-NETO, L., MILORI, D.B.M., SALTON, J.C., MACEDO, M.M., MIELNICZUK, J., HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. Eur. J. Soil Sci. 60:240–249, 2009.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KNABNER, I.K. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. Plant Soil, 268:319-328, 2005.
- ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian J. Soil Sci., 75:529-538, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In.: BLACK, C. A. (Ed). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.
- LEITE, L. F.C.; GALVÃO, S. R.S.; HOLANDA-NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 14:1273–1280, 2010.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, 37:868-878, 2002.

- NASCIMENTO, P. C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L. F.; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. M. M.; MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1821-1827, 2009.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2091-2100, 2008.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RESENDE, I. L. M.; ARAÚJO, G. M.; OLIVEIRA, A. P. A.; ÁVILA JÚNIOR, R. S. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. *Acta bot. Bras*, 18:9-17, 2004.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER.; 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. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:11-21, 2008.
- SEPIN (superintendência de estatística, pesquisa e informações socioeconômicas). http://www.seplan.go.gov.br/sepin/viewnot.asp?id_cad=1080&id_not=1. Acesso em 02/04/2012. Aspectos físicos de Goiás. 2005.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *R. B. Ci. Solo*, 21:13-319, 1997.
- SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, 2 ed. 525-543, 2008.
- SIQUEIRA-NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J. M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. *Soil & Tillage Research* 110:187–195, 2010.

- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavourapecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. R. Bras. Ci. Solo, 33: 1829-1836, 2009.
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. UFRGS: Dpto de Solos. Faculdade de Agronomia. Boletim técnico n°5, 2. ed rev. e ampl. Porto Alegre, 174p, 1995.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 35:213-223, 2011.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, 33:743-755, 2009.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

São muitos os trabalhos realizados com plantio direto que demonstram que esse sistema de manejo é uma ferramenta eficaz em recuperar os estoques de carbono no solo após conversão para a atividade agrícola. No entanto, essa pode ser uma visão generalizada e errônea, pois grande parte dos solos estudados tratam-se de Latossolos e Argissolos, tendo estes alta capacidade de formação de complexos organo-minerais, tendendo a ter maior acúmulo de carbono. Assim outros tipos de solo, e também outros ambientes podem ser mais sensíveis quando ocorre essa transição de áreas nativas para a atividade agrícola.

Para o ecossistema de coval, mesmo utilizando sistema conservacionista por 16 anos com duas safras, o plantio direto não foi eficiente em manter os estoques de matéria orgânica do solo em quantidades próximas ao original, demonstrando a maior fragilidade desse sistema. Desta forma, as áreas de coval ainda não inseridas a atividade agrícolas devem ser mantidas sob área de preservação permanente.