

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARBONO ORGÂNICO E GLOMALINA AFETADOS POR  
SISTEMAS DE CULTIVO DE LONGA DURAÇÃO**

**FELIPE CAMARGO DE PAULA CARDOSO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/ DF**

**FEVEREIRO/2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARBONO ORGÂNICO E GLOMALINA AFETADOS POR**  
**SISTEMAS DE CULTIVO DE LONGA DURAÇÃO**

**FELIPE CAMARGO DE PAULA CARDOSO**

**ORIENTADOR: EIYTI KATO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO:137/2017**

**BRASÍLIA/ DF**  
**FEVEREIRO/2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARBONO ORGÂNICO E GLOMALINA AFETADOS POR  
SISTEMAS DE CULTIVO DE LONGA DURAÇÃO**

**FELIPE CAMARGO DE PAULA CARDOSO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**Dr. EIYTI KATO** (Universidade de Brasília – UnB)

Orientador; email: kato@unb.br

---

**Dra. THAÍS RODRIGUES COSER** (Universidade de Brasília - UnB)

Examinadora externa; email: tcoser@unb.br

---

**Dr. NERICLENES CHAVES MARCANTE** – (Embrapa Cerrados)

(Examinador externo); email: marcante1987@gmail.com

**BRASÍLIA/DF, 24 de FEVEREIRO de 2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

CARDOSO, Felipe Camargo de Paula

“CARBONO ORGÂNICO E GLOMALINA AFETADOS POR SISTEMAS DE CULTIVO DE LONGA DURAÇÃO”

Orientação: Eiyti Kato, Brasília, 2017. 59 páginas

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. Plantio direto. 2. Carbono Orgânico 3. Índice de manejo de carbono

I. Kato,E.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARDOSO, F.C.P. Carbono orgânico e glomalina afetados por sistemas de cultivo de longa duração. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 53 páginas. Dissertação.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** FELIPE CAMARGO DE PAULA CARDOSO

**Título da Dissertação de Mestrado:** Carbono orgânico e glomalina afetados por sistemas de cultivo de longa duração

**Grau:** Mestre      **Ano:** 2017.

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

---

FELIPE CAMARGO DE PAULA CARDOSO

CPF: XXX.XXX.XXX-XX

(61) 984928413 / email: felipeccamargo@gmail.com

*À minha família!*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

*Ao meu orientador Dr. Eiyti Kato, pela paciência, compreensão e pela disposição em ajudar em todos os momentos.*

*Ao pesquisador João de Deus G. Santos, agradeço todos os ensinamentos, conversas, orientações e dedicação, desde a amostragem do solo até a conclusão da dissertação para o mestrado.*

*À minha família, pois sem o apoio de todos eles não teria chegado aonde cheguei.*

*Agradeço em especial a Juliana Hiromi Sato. Muito obrigado por tudo!*

*E a **Deus**, por ter colocado todas essas pessoas e oportunidades em meu caminho!!*

***Muito obrigado!***

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1. Carbono orgânico do solo (COS) sob sistemas de plantio direto e plantio convencional.....	14
3.2. Frações oxidáveis e índice de manejo de carbono.....	17
3.3. Glomalina, uma proteína de solo sintetizada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	20
3.4. Funcionalidades das glomalinas e proteínas relacionadas no solo (GRPS).....	21
3.5. Carbono Orgânico total (COT) relacionado com a GRSP e a persistência da proteína no solo.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1. Caracterização das áreas experimentais.....	25
4.2. Amostragem de solo.....	27
4.3. Carbono Orgânico Total (COT) do solo.....	27
4.4. Frações oxidáveis de carbono orgânico.....	28
4.5. Concentrações de glomalina facilmente extraível (GFE) no solo.....	28
4.6. Determinação do Índice de Manejo do Carbono (IMC).....	29
4.7. Estatística.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1. Teor de carbono orgânico total do solo.....	30
5.2. Carbono lábil (CL), relação CL/COT, carbono não lábil (CNL) e labilidade (L). .....	34
5.3. Índice de compartimento de carbono (ICC), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC).....	38
5.4. Glomalina facilmente extraível (GFE).....	41
6. CONCLUSÕES.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização das áreas de cerrado e sítios com experimentos de longa duração (Sítio 32, Sítio 15 e Sítio 12) na Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal. .... 25
- Figura 2. Distribuição do carbono orgânico total (COT) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 anos (S32), 15 anos (S15) e 12 anos (S12) de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade. .... 30
- Figura 3. Distribuição do carbono lábil (CL) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 anos (S32), 15 anos (S15) e 12 anos (S12) de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade. .... 34
- Figura 4. Índice de compartimento de carbono (ICC) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade. .... 38
- Figura 5. Índice de labilidade (IL) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade. .... 39
- Figura 6. Índice de manejo de carbono (IMC) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade. .... 40
- Figura 7. Distribuição da glomaina facilmente extraível (GFE) em profundidade de de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste de t ao nível de 10% de probabilidade. .... 41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico de plantio nas áreas experimentais com 32 anos de cultivo (S32), 15 anos de cultivo (S15) e 12 anos de cultivo (S12). .....	27
Tabela 2. Teores de carbono não lábil (CNL) (g kg <sup>-1</sup> ), relação carbono lábil e carbono orgânico total (CL/COT) (%) e labilidade (L) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 32, 15 e 12 anos de plantio direto e convencional e sob vegetação de cerrado nativo em Latossolo Vermelho argiloso. ....	36

## RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi determinar as alterações promovidas pelos sistemas de preparo direto (PD) e convencional (PC), em experimentos de longa duração e em relação a vegetação do cerrado (CER), nos teores de Glomalina facilmente extraível (GFE), Carbono orgânico total (COT), Carbono lábil (CL), Carbono não lábil (CNL), Relação CL/COT, Labilidade (L), Índice de Labilidade (IL), Índice de compartimento de carbono (ICC) e Índice de manejo de carbono (IMC). A amostragem do solo foi realizada em experimentos de longa duração que comparam PD e PC com 12 (S12), 15 (S15) e 32 (S32) anos de cultivo. Foi observado aumento no teor de COT, após 32 anos, na superfície do solo no sistema de PD. No S32, o PC apresentou o maior valor de redução de COT em relação ao CER. O CL reduziu em 65 %, de 0-5 cm, em PC em relação ao CER após 32 anos de cultivo. Após 12 anos, a redução de CL na superfície do solo foi de 52% no PC em relação ao CER. O ICC indica que após 32 anos o PD, em relação ao PC, está contribuindo para o aumento de COT. Porém, o mesmo índice (ICC) indica que mesmo após longos anos de cultivo, o acúmulo de COT não foi suficiente para restabelecer os valores de COT da vegetação nativa. O IL maior em PD, em relação ao PC, indica que o SPD está proporcionando um ambiente menos oxidativo, com maior proteção física da MOS. O aumento dos valores de IMC mostra que o não revolvimento do solo e o aporte de resíduos vegetais nas camadas superficiais contribuíram para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e da qualidade das frações orgânicas no SPD em relação ao plantio convencional. Os dados de GFE indicam que mais estudos precisam ser feitos, em especial quanto ao método de extração da proteína, para utilizá-la como indicador de qualidade do solo.

Palavras-chave: Plantio direto. Carbono orgânico do solo. Índice de manejo do carbono.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the changes promoted by no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) systems in long - term experiments and in relation to native vegetation of Cerrado (CER), at easily extractable glomalin (EEG), Labile carbon (LC), non-labile carbon (NLC), LC / TOC ratio, Liability (L), Liability Index (LI), Carbon Compartment Index (CCI) and Carbon Management Index (CMI). Soil sampling was performed in long-term experiments comparing NT and CT, with 12 (S12), 15 (S15) and 32 (S32) years of implantation. It was observed an increase in the TOC content, after 32 years, in the soil surface in the NT system. In S32, the CT had the highest TOC reduction value in relation to the CER. The LC reduced by 65%, from 0-5 cm, in CT to CER after 32 years of agricultural practices. In 12 years, the LC reduction at the soil surface was 52% in the CT in relation to the CER. The CCI indicates that after 32 years the NT, in relation to the CT, is contributing to the increase of TOC. However, the same index (CCI) indicates that even after long years of cultivation, the accumulation of TOC was not sufficient to restore the TOC values of the native vegetation. The higher LI in NT, relative to the CT, indicates that the NT is providing a less oxidative environment, with greater physical protection of the SOM. The increase in CMI values shows that the no-tillage and the contribution of vegetal residues in the superficial layers contributed to increase the capacity of preservation and recovery of the contents and the quality of the organic fractions in the NT in relation to conventional planting. EEG data indicate that more studies need to be done, especially regarding the method of protein extraction, to use it as an indicator of soil quality.

Key words: No-tillage. Organic soil carbon. Carbon management index.

## 1. INTRODUÇÃO

A região do Cerrado é uma importante fronteira agrícola no Brasil, com uma área de 203,4 milhões de ha (EMBRAPA, 2014), representando 24% do país. Cerca de 80 milhões de hectares, equivalentes a 39% da área total, foram utilizados para fins pecuários e agrícolas (GUARESCHI et al., 2013).

A conversão de áreas nativas do Cerrado em sistemas agrícolas tem provocado, em algumas situações, a degradação de áreas devido a sua exploração inadequada. Normalmente, essa degradação está associada a perdas da matéria orgânica do solo (MOS), que desempenha funções fundamentais para o adequado funcionamento do solo. A importância da MOS em relação às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida (SEGNINI, 2007).

Dentre os sistemas de manejo do solo utilizados para a produção das culturas, têm-se o sistema de plantio convencional (PC), no qual a técnica consiste no revolvimento do solo através de aração e gradagem, ainda é o mais utilizado em todo o mundo (AZIZ et al., 2013) e o plantio direto (PD), que se trata de um sistema de produção conservacionista, fundamentando-se na ausência do preparo do solo, na cobertura permanente da área e na rotação ou sucessão de culturas (HECKLER et al., 2002).

Neste sentido, o sistema de manejo alternativo ao preparo convencional na agricultura pode se tornar relevante no aumento dos teores de carbono orgânico do solo (COS). Porém, resultados de pesquisa não têm sido conclusivos quanto ao acúmulo de C no SPD. Enquanto em alguns trabalhos observaram-se incrementos significativos nos teores de MOS, quando comparados a sistemas convencionais (SÁ et al., 2009; GUARESCHI et al., 2013; ROSSETI et al., 2015), em outros estudos nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos (MARCHÃO et al., 2009; ROSCOE & BUURMAN, 2003). Assim, outros estudos são necessários para entender o acúmulo de C nos sistemas de manejo, em especial como isso se dá ao longo de vários anos.

Os sistemas de manejo podem tanto alterar as quantidades de COS quando a qualidade deste material no solo. Desta forma, a matéria orgânica do solo (MOS) torna-se extremamente importante na avaliação de sistemas de manejo do solo, com um bom indicador de qualidade do solo (SOUSA NETO et al., 2014).

Relacionando o estoque de carbono (C) nas frações da MOS é possível expressar a qualidade dos sistemas de manejos agrícolas, através do índice de manejo de carbono (IMC), que é o produto entre o índice de estoque de carbono (IEC) e o índice de labilidade de carbono (IL) (BLAIR et al., 1995; DIEKOW et al., 2005; CONCEIÇÃO et al., 2014).

Ainda em relação à avaliação de sistemas de manejo do solo, uma proteína relacionada aos fungos micorrízicos arbusculares, a Glomalina, tem sido utilizado como indicador de qualidade do solo devida a sua estreita relação com formação de agregados do solo e teor de COS.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Comparar os sistemas de plantio direto e convencional após 12, 15 e 32 anos de manejo quanto aos teores de carbono orgânico total, suas frações oxidáveis e glomalina, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, tendo como referência o solo sob vegetação de cerrado.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar as alterações promovidas pelos sistemas de preparo direto e convencional, em experimentos de longa duração e em relação a vegetação do cerrado, nos teores de Glomalina facilmente extraível (GFE), Carbono orgânico total (COT), Carbono lábil (CL), Carbono não lábil (CNL), Relação CL/COT, Labilidade (L), Índice de Labilidade (IL), Índice de compartimento de carbono (ICC) e Índice de manejo de carbono (IMC).

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Carbono orgânico do solo (COS) sob sistemas de plantio direto e plantio convencional.

O carbono orgânico no solo (COS) é o componente mais importante na manutenção da qualidade do solo devido ao seu papel na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo. Segundo Roscoe & Machado (2002) o COS é oriundo de material vegetal, animal ou de microorganismos na forma de resíduos inalterados ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, e podem estar associados ou não à fração mineral. A principal fonte de COS é constituída de resíduos da biomassa vegetal e, de modo geral, considera-se que o carbono orgânico representa 58% da matéria orgânica do solo (MOS) (SILVA & RESCK, 1997).

A MOS, e conseqüentemente o COS, participa dos diversos processos químicos, físicos e biológicos nos solos, que incluem desde os processos de intemperismo e formação dos solos (TAN, 1986) até a formação de estruturas mais complexas, como os agregados (LOSS et al., 2011; LIMA FILHO et al., 2014).

Em regiões de clima tropical e subtropical, com predomínio de minerais do tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al, como os Latossolos, a MOS é um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos, representando uma parcela significativa da capacidade de troca de cátions (HONTORIA et al., 2016), responsável por 75 a 90% da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (BORTOLUZZI et al., 2009). Importante, ainda, no armazenamento e suprimento de nutrientes para as plantas e a complexação de substâncias tóxicas, aumentando a capacidade de resiliência dos solos.

A principal propriedade física influenciada pela MOS é a agregação, que afeta indiretamente a estrutura, a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água no solo (SALTON et al., 2008; HOORMAN, 2009; GUEDES FILHO et al., 2013).

Para a biota do solo, a MOS é uma importante fonte de energia e nutrientes (TOMAZI, 2008; HAN et al., 2016). A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, representando reservatório de nutrientes como C, H, O, N, P, S, Ca, Mg e outros (MATSUOKA et al., 2003).

Entretanto, o manejo do solo influencia na quantidade e qualidade da matéria orgânica (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Algumas práticas de manejo têm grande influência sobre o teor de carbono orgânico no solo, apresentando potencial de reter carbono atmosférico no solo e contribuir para a mitigação do aquecimento global, pois a MOS participa das trocas gasosas entre solo e atmosfera (COSTA et al., 2006).

O sistema de plantio direto (SPD) promove uma série de benefícios pela formação de maior cobertura vegetal morta sobre a superfície do solo. Isso se deve principalmente em virtude da menor perturbação do solo, favorecendo a formação de agregados, reduzindo as perdas de solo por erosão hídrica, diminuindo a amplitude térmica do solo e interferindo menos na taxa de decomposição da MOS (BAYER et al., 2006). Assim, as taxas de perda de matéria orgânica são reduzidas, aumentando o seu teor de forma mais efetiva na superfície do solo (LOPES et al., 2004). Logo, ocorrem reduções das perdas de nutrientes (BISSANI et al., 2008), contribuindo para a manutenção ou elevação do potencial produtivo das culturas (DORNELLES, 2011).

O sistema de plantio convencional (SPC) do solo pode apresentar contribuição no controle de plantas invasoras. No entanto, pode também resultar em declínio dos estoques de COS pelo uso indiscriminado de arações, gradagens e escarificações, com degradação da estrutura do solo e estimulação da oxidação da matéria orgânica do solo por parte da biomassa microbiana deste, levando a intensas perdas de carbono por mineralização e erosão (DAS et al., 2014).

Neste sentido, o sistema de manejo alternativo ao preparo convencional na agricultura pode se tornar relevante no aumento dos teores de COS. Porém, resultados de pesquisa não têm sido conclusivos quanto ao acúmulo de C no SPD. Enquanto em alguns trabalhos observaram-se incrementos significativos nos teores de MOS, em outros estudos nenhuma diferença significativa foi observada entre SPD e SPC. Faltam ainda estudos que avaliam o teor de COS em experimentos de longa duração.

Rossetti et al. (2015), com o objetivo de quantificar os estoques de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em uma cronossequência sob diferentes manejos, encontraram teores maiores de COS, na profundidade de 0-10 cm no tratamento SPD9 (plantio direto após 9 anos) em relação ao SPC e sistemas de plantio direto mais novos (SPD5 e SPD7). O teor de COS no SPD9 só não foi maior que o valor da mata nativa adjacente à área experimental.

Hickmann et al. (2012), avaliando as alterações nos atributos físicos e no teor de carbono orgânico em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido ao sistema plantio direto (PD) e ao sistema convencional de preparo com arado de disco (AD), grade pesada (GP) e grade pesada com arado de disco (GP + AD) durante 23 anos, encontraram valores diferentes de COS apenas na profundidade de 0-5 cm, onde PD > AD = GP = GP + AD. Nas profundidades de 5-10cm, 10-20cm, 20-40cm, o COT foi estatisticamente igual para todos os tratamentos.

Zinn et al. (2005), com dados do COS de Latossolos obtidos através de uma vasta revisão literária, calcularam o estoque de carbono nas profundidades de 0-20 cm e 0-40 cm. Mudanças no estoque de carbono foram mensuradas para o uso intensivo do solo (revolvimento anual do solo) e uso não intensivo (pastagem, culturas perenes ou sistemas de plantio direto). O uso intensivo do solo causou perda de 10,3% de COS na profundidade de 0-20 cm, mas não na profundidade de 0-40 cm. Mostraram, ainda, que, em geral, sistemas de uso não intensivo do solo não apresentaram efeito significativo no estoque de carbono em ambas as profundidades.

Marchão et al. (2009), em seus estudos na região de Planaltina – DF, encontraram valores similares de COS nas áreas de cerrado nativo e de PC. Além disso, o não revolvimento do solo por 10 anos, após conversão de SPC para SPD, e o revolvimento por 13 anos não apresentaram diferenças significativas no estoque de C.

Bayer et al. (2006), na região de Luziânia – GO, relataram maior teor de COS no SPD (41 Mg ha<sup>-1</sup>) em comparação ao cerrado nativo (38,4 Mg ha<sup>-1</sup>), porém não houve diferença significativa de valores na comparação SPD e SPC. No mesmo estudo, mas em uma região diferente (Costa Rica – MS), o estoque de C no SPD (57,3 Mg ha<sup>-1</sup>) foi superior aos conteúdos de C no PC (54,3 Mg ha<sup>-1</sup>) e no Cerrado nativo (54 Mg ha<sup>-1</sup>). Em ambas as regiões, não houve diferença significativa entre os teores de C na comparação entre Cerrado Nativo e PC. Os autores sugerem que a falta de diferença é consequência do aporte de C oriundo do cultivo no sistema convencional.

Oliveira et al. (2004), em estudos em um Latossolo Vermelho do Distrito Federal, verificaram maior acúmulo de matéria orgânica quando foi utilizado o sistema plantio direto por 20 anos rotacionando soja, milho e arroz, comparado a um sistema convencional de preparo do solo. Os autores observaram que os teores de C são superiores nas camadas de 0-5 e 5-10 cm do solo para o sistema de plantio direto.

Avaliando as alterações dos estoques de C entre SPD e cultivo convencional, Bernoux et al. (2006) observaram taxas de acúmulo de C variando de 0,4 a 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a região do Cerrado quando analisaram a camada de 40 cm de solo. Carvalho et al. (2009), em um recente estudo, observaram acúmulo de C de 0,38 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na sucessão de cultivos soja/milho.

Metay et al. (2007), ao avaliar diferentes sistemas de manejo em Latossolo da região do Cerrado, verificaram maior estoque de carbono no solo (0-20 cm) sob sistema de plantio direto em relação ao sistema de plantio convencional, com 11 e 24 anos de implantação respectivamente, e o acúmulo anual de carbono no SPD foi de 0,35 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono.

Boddey et al. (2010) apresentaram os resultados de três experimentos de longo prazo na região Sul do Brasil onde o estoque de C em áreas de cultivo de soja em rotação com diversas culturas sob SPD e SPC foram comparados. Aumentos significativos no estoque de C foram obtidos para os solos sob SPD onde a rotação era feita entre soja e outra leguminosa (adubação verde). De forma similar, Zotarelli et al. (2012) encontraram diferenças significativas no estoque de C apenas quando o SPD era conduzido rotacionando com alguma cultura leguminosa.

### **3.2. Frações oxidáveis e índice de manejo de carbono**

A implementação de atividades agropecuárias pode alterar o estoque e a composição química da matéria orgânica do solo (MOS) (ZINN et al., 2005). Assim, além das mudanças na quantidade de matéria orgânica em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e biodisponibilidade (BLAIR et al., 1995).

Procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do carbono com permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) a pH 7,0 têm sido propostos para diferenciar o carbono com base em sua disponibilidade. Blair et al. (1995) consideram como carbono biodisponível o carbono oxidável por uma solução de 0,333 mol L<sup>-1</sup> de KMnO<sub>4</sub>.

No intuito de avaliar diferentes frações de oxidação do carbono do solo, Chan et al. (2001) introduziram uma modificação no método clássico de determinação do carbono do solo desenvolvido por Walkey & Black (1934). No método original, o carbono é determinado pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico (12

mol L<sup>-1</sup>) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), pode-se separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico.

São, então, obtidas quatro frações:

- Fração 1 (F1): C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido de 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Fração 4 (F4): diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e a formação de macroagregados (CHAN et al., 2001). A F1 é a fração de maior labilidade no solo, e altamente correlacionada com a fração leve livre da matéria orgânica do solo (MAIA et al., 2007). As frações F3 e F4, no entanto, estão relacionadas com compostos de maior estabilidade química e peso molecular mais elevado que se originam a partir da decomposição e humificação da MOS. A fração F4 é a mais resistente no solo, sendo chamada de "componente passivo" em modelos de simulação de MOS (CHAN et al., 2001).

A fração lábil da MOS pode ocorrer livremente e seu mecanismo de proteção é intrínseco à recalcitrância de sua composição química ou está relacionado à oclusão no interior dos agregados, o que limita o acesso a microrganismos e suas enzimas (CHRISTENSEN, 2001). A MOS estável é constituída, geralmente, por materiais mais humificados, estabilizados pela ligação direta entre as frações orgânicas e minerais (GOLCHIN et al., 1994).

Estudos com fracionamento do carbono orgânico do solo indicam que os maiores teores de carbono na fração F1 tendem a ser encontrados naquelas áreas onde há aporte de matéria orgânica via resíduos vegetais (CHAN et al., 2001; BLAIR et al., 1995; RANGEL et al., 2008), sendo este aumento relacionado, principalmente, à fração leve livre da MOS (MAIA et al., 2007).

Majumder et al. (2008), ao avaliar as frações de C oxidável em sistemas de cultivo de arroz e milho por 19 anos na Índia, concluíram que a fração F1 pode ser

considerada um bom indicador de sustentabilidade do sistema, uma vez que apresentaram alta correlação com a produtividade das culturas.

Loss et al. (2010) mostraram que o plantio direto da berinjela/milho, sob sistema de cultivo orgânico, propicia melhor distribuição do carbono de cada fração oxidável em relação ao carbono orgânico total. Concluíram que há um equilíbrio entre matéria orgânica de maior labilidade no solo (F1) e matéria orgânica mais recalcitrante (F4).

Guareschi et al. (2013) mencionam que, em geral, um aumento nas frações lábil da MOS pode ser observada em função do tempo decorrido desde implementação do SPD. Em seu experimento, áreas de SPD com 15 e 20 anos de implementação apresentaram um teor de C nas frações F1 e F2 semelhante ou superiores às áreas de vegetação nativa.

A partir de dados do fracionamento, é possível obter-se o índice de manejo de C (IMC), proposto por Blair et al. (1995), que relaciona o estoque de C do solo e sua labilidade, calculados com base num sistema de referência (vegetação em estado natural). O IMC parece ser uma ferramenta útil para subsidiar informações acerca dos melhores sistemas de manejo de solos e culturas, pois integra, numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (NICOLOSO et al., 2008).

Rangel et al. (2008), ao avaliar um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro, no sul de Minas Gerais, evidenciaram que os valores mais altos e mais baixos do IMC foram encontrados nas áreas onde notaram, respectivamente, um aporte superior e inferior de resíduos sobre a superfície do solo.

Salton (2005) observou IMC superior para sistemas com presença de pastagem, com valores de 137 e 104, respectivamente, para área de pastagem permanente (U. decumbens) e rotação de soja/braquiária (soja por dois anos/U. decumbens), os quais superaram os sistemas apenas com lavoura e a vegetação de cerrado de referência.

Guareschi et al. (2013) demonstraram que o IMC aumentou com o aumento do tempo de execução do SPD, e, que em áreas de 15 e 20 anos de PD, o índice foi maior que em áreas de 3 anos de PD e área de pastagem.

Souza et al. (2016), constatou que o IMC aumentou sistematicamente com o tempo de adoção do PD, em relação ao campo de referência, e que as áreas agrícolas apresentaram valores superiores em 12, 28 e 39% no PD7 (após 7 anos de PD), PD11 e PD16, respectivamente.

Contudo, Silva et al. (2016), evidenciaram que o não revolvimento do solo, em um sistema de plantio direto por 10 anos, não foram suficientes para aumentar o valor de IMC. Sendo necessário administrar a adoção e o uso do solo para o aumento do suprimento de resíduos orgânicos no sistema.

### **3.3. Glomalina, uma proteína de solo sintetizada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).**

As primeiras descobertas da proteína glomalina remetem a trabalhos com anticorpos em fungos micorrízicos arbusculares (FMA) iniciados pela Dra. Sara Wright (USDA-ARS, Beltsville, EUA), em 1987 (PURIN & KLAUBERG, 2010). Estes fungos são simbioses de plantas e estão largamente distribuídos no ecossistema terrestre, numa vasta diversidade de clima e tipos de solo (SMITH & READ, 2008), e ainda estabelecem associações com a maioria de plantas utilizadas na agricultura (JEFFRIES et al., 2003).

Motivados pelas dificuldades taxonômicas na identificação de FMA, Wright et al. (1996) desenvolveram um anticorpo específico onde espécies de FMA apresentaram reatividade, denominado de MAb 32b11. Posteriormente, foi demonstrado que o antígeno do MAb 32b11 no micélio do fungo possuía natureza proteica com base em certas evidências: tratava-se de uma proteína comprovada pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976) e apresentava resultado positivo para lectina ligadora e sua identificação por eletroforese capilar (PURIN & KLAUBERG, 2010). Wright et al. (1996) denominaram esta glicoproteína como glomalina em referência a ordem Glomales, que abrangia os FMA na época.

Wright & Upadhyaya (1998) desenvolveram métodos de extração da proteína no solo e introduziram termos de classificação da glomalina com base nesses métodos. O termo Easily Extractable Glomalin (EEG) denomina a glomalina facilmente extraível com tampão de extração de citrato de sódio 20mM e pH 7,0 em um ciclo curto de autoclavagem (30 minutos a 121 °C). Já o termo Total Glomalin (TG) designa a glomalina total extraída com citrato de sódio 50mM e pH 8,0 em sucessivos ciclos de autoclavagem. Os extratos autoclavados de citrato de sódio são submetidos aos ensaios colorimétricos de Bradford para determinação do teor de proteína. Rillig (2004) em uma

revisão sobre fungos micorrízicos arbusculares, glomalina e agregação do solo propôs uma nova terminologia para a proteína. Sugere o termo Glomalin-related soil protein (GRSP) para designar todas as proteínas intactas ao processo de extração, entendendo, portanto, a possibilidade de coextração de outros compostos proteicos pelo citrato de sódio. O termo Glomalina deve então ser utilizado apenas para a proteína específica produto do gene (ou grupo de genes) por FMA (RILLIG, 2004 e ROSIER et al., 2006).

Rillig (2004) fez adaptações das nomenclaturas propostas por Wright e Upadhyaya (1998), mantendo, porém, os métodos de extração e identificação. Os termos TG e EEG são renomeados para Bradford-reactive soil protein (BRSP) e Easily Extractable BRSP (EE-BRSP), respectivamente, fundamentado na possibilidade de coextração de outras proteínas e ainda mencionando a não-especificidade do ensaio de Bradford para uma única proteína.

Os teores de glomalina no solo são variáveis (DRIVER et al., 2005). Estudos mostraram uma variação de 2 a 15 mg g<sup>-1</sup> em solos do Estados Unidos em climas temperados (WRIGHT et al., 1996; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). No entanto, concentrações mais elevadas de GRSP (> 100 mg g<sup>-1</sup>) têm sido relatadas em solos tropicais (RILLIG et al., 2001) e em solos vulcânicos do Japão (> 60 mg g<sup>-1</sup>) (NICHOLS & WRIGHT, 2004). Solos sob florestas de carvalho na Irlanda foi relatado um teor de 69 mg g<sup>-1</sup> (NICHOLS & WRIGHT, 2004).

### **3.4. Funcionalidades das glomalinas e proteínas relacionadas no solo (GRPS)**

Os fungos micorrízicos arbusculares desenvolvem papel importante em vários processos microbiológicos e ecológicos, influenciando fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, matéria orgânica do solo (FINLAY, 2008), agregação do solo (WRIGHT et al., 2007) bem como influenciam a nutrição e saúde de plantas (JEFFRIES et al., 2003). Os FMA são também conhecidos por conferirem aumento de resistência a patógenos para as plantas que hospedam e a outros estresses ambientais (RUIZ-LOZANO et al., 2008). A relação de simbiose plantas-FMA regula ainda fluxos de carbono entre biosfera e atmosfera por diferentes mecanismos (ZHU & MILLER, 2003).

Wright & Upadhyaya (1998) realizaram os primeiros estudos buscando estabelecer relação entre glomalina e atributos físicos do solo, demonstrando significativa contribuição desta proteína na estabilidade de agregados.

Wright & Anderson (2000) em experimentos nos Estados Unidos em áreas de rotação de cultura entre trigo, milho, milheto e girassol encontraram relação linear ( $r=0,73$ ) entre estabilidade de agregados do solo e os valores de Immunoreactive Total Glomalin (IRTG) em todos os tratamentos amostrados.

Mesmo com algumas exceções, concentrações de glomalina são consistentemente correlacionadas com a estabilidade de agregados e a maioria das pesquisas tem incidido nesse aspecto no sistema do solo. No entanto numerosas perguntas sobre a distribuição dessa proteína no ambiente ainda necessitavam de respostas. Rillig et al. (2003) mencionam a importância do entendimento de como essa proteína se encontra distribuída no perfil do solo e ainda de como as práticas de manejo na agricultura poderiam afetar as concentrações da mesma.

Rillig et al. (2003), em Ohio (USA), investigou a distribuição de GRSP no perfil do solo assim como a relação entre tipo de manejo e propriedades químicas do solo com as concentrações da proteína em áreas de cultivo convencional de milho e soja (AGRIC), floresta nativa (NAT) e áreas de reflorestamento (REF). Solos de agricultura e reflorestamento apresentaram menores teores de glomalina quando comparados com solos de floresta nativa no horizonte A (REF =  $3,41 \text{ g cm}^{-3}$  de solo; AGRIC =  $3,06 \text{ g/cm}^3$ ; NAT =  $4,91 \text{ g cm}^{-3}$ ) e também no horizonte B (REF =  $2,01 \text{ g cm}^{-3}$  de solo; AGRIC =  $1,90 \text{ g cm}^{-3}$ ; NAT =  $2,90 \text{ g cm}^{-3}$ ). Mostraram ainda que a glomalina está distribuída de forma decrescente no perfil do solo, e é encontrada até 1 metro de profundidade. O teor de GRSP ainda foi positivamente relacionado com teores de carbono ( $r^2=0,896$ ) e nitrogênio ( $r^2=0,887$ ). Borie et al. (2006) também mostraram o efeito positivo de reduzir-se ou eliminar-se o revolvimento do solo sobre os estoques de glomalina. Liebig et al. (2006) quantificaram glomalina em solos sob sistema convencional e cultivo mínimo, e encontraram concentrações 27% maiores nas áreas com cultivo mínimo em comparação com áreas convencionais.

Na Itália, Bedini et al. (2007) quantificaram as concentrações de BRSP de Neossolos em uma área com 50 anos de monocultivo de milho, em uma área de floresta adjacente e em áreas de pastagens intactas. Os valores de BRSP foram seis vezes maiores nas áreas de pastagens ( $12 \text{ mg g}^{-1}$  de solo) do que no local de monocultivo ( $2 \text{ mg g}^{-1}$  de solo). Concentrações de  $7 \text{ mg}$  de BRSP por grama de solo foram encontrados nos solos da floresta adjacente. Wright et al. (2007) quantificaram valores de GRSP em Argissolos americanos sob plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e áreas de

plantio convencional adubados com esterco de galinha por anos (ORG). Os valores médios de GRSP, estatisticamente significantes, para cada tratamento foram de: PD = 2,86 mg g<sup>-1</sup> de solo, PC = 2,27 mg g<sup>-1</sup> e ORG = 2,09 mg g<sup>-1</sup>. Quando separados apenas os agregados do solo para análise de glomalina, a relação se repetiu. Valores médios para glomalina nos agregados de PD foram maiores do que para PC ou agregados de ORG de 0,53 mg g<sup>-1</sup> e 0,66 mg g<sup>-1</sup> de agregados, respectivamente.

No Chile, Curaqueo et al. (2011) encontraram diferenças nas quantidades de GRSP e EE-GRSP em solos sob plantio direto e plantio convencional. Áreas com 6 e 10 anos de plantio direto apresentaram maiores valores de GRSP e EE-GRSP do que na área submetida a plantio convencional em duas profundidades de solo (0-2 cm e 2-5 cm). Maiores concentrações de glomalina foram evidenciadas no solo com 6 anos de plantio direto, contrariando a expectativa para os maiores teores da proteína na área manejada há 10 anos com plantio direto. Diversas relações diretas entre diferentes parâmetros foram encontradas, a citar, GRSP e estabilidade de agregados ( $r=0,66$ ) e GRSP e quantidade de hifas ( $r=0,58$ ).

Outras funcionalidades ainda são descritas para essa proteína. Baseado na identificação da sequência de aminoácidos, a glomalina é homóloga a Heat Shock Protein (Hsp60), uma proteína sintetizada por plantas submetidas a estresses bióticos e abióticos (PURIN & RILLIG, 2007). Pesquisadores já comprovaram a capacidade da glomalina em adsorver metais tóxicos, como cádmio, chumbo e cobre (GONZALEZ-CHAVEZ, 2004; CABRAL et al., 2010).

### **3.5. Carbono Orgânico total (COT) relacionado com a GRSP e a persistência da proteína no solo**

Vários autores apresentam correlação significativa entre as quantidades de glomalina e ao Carbono Orgânico total (COT) do solo e a importância do não revolvimento da área nos estoques de carbono e de glomalina (BORIE et al., 2000). Liang (2010) estudou os efeitos do sistema de manejo nos estoques de carbono e de glomalina no solo. O sistema de plantio direto enriqueceu a concentração de carbono orgânico total e de GRSP nas camadas de 0-15 cm. Os dois parâmetros se correlacionaram positivamente ( $r^2=0,68$ ). Sponh & Giani (2010) encontraram relação positiva para GRPS e COT ( $r^2=0,67$ ) e demonstraram que áreas de agricultura

modificadas ao longo dos anos apresentaram decréscimo de 64% do COT e 57 % de GRSP quando comparadas com áreas de pastagem estabelecidas a mais de 40 anos.

Rillig et al. (2003) afirmam que a glomalina tem de 27 a 43% de carbono em sua composição química dependendo do procedimento de extração e origem. Borie et al. (2006) mensuraram valores COT e GRSP de áreas de PD e PC e, considerando que GRSP tem 43% de carbono, evidenciaram que o carbono da glomalina representa uma significativa proporção do COT; variando de 4,6 a 5% do COT nos tratamentos. Lovelock et al. (2004) encontraram que cerca de 3% do COT corresponde a glomalina em solos tropicais da Costa Rica. Nichols & Wright (2005) em estudos de fracionamento da matéria orgânica do solo mostraram que a glomalina representa 13% do COT, uma porcentagem nove vezes maior que o teor de ácidos húmicos. Devido à relação direta entre COT e GRSP, frações de glomalina estão sendo usados como indicadores de alteração ambiental (RILLIG et al., 2003).

Um aspecto importante envolvendo a ciclagem do carbono é o efeito das concentrações CO<sub>2</sub> na produção de glomalina por FMA. Resultados em experimentos demonstram que existe um aumento na produção de glomalina em resposta a maiores concentrações de CO<sub>2</sub> (RILLIG et al., 2001). A captura do CO<sub>2</sub> da atmosfera e a possível recalcitrância do glomalina no solo (LUTGEN et al., 2003) despertam interesse quanto ao sequestro de carbono da atmosfera, e suas consequências para o clima da Terra.

A persistência da glomalina no solo é estimada entre 6 e 42 anos em solos tropicais, maior que o observado para o micélio, que é estimada em poucos dias (Rillig et al., 2001). Steinberg & Rillig (2003), avaliando percentuais de decomposição, verificaram que as concentrações de glomalina diminuiram 25% em 150 dias, enquanto que o micélio do fungo diminui 60%.

Porém poucos trabalhos tratam dessa persistência da glomalina no solo, dificultando afirmar corretamente a recalcitrância do composto no solo (PURIN & KLAUBERG, 2010).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização das áreas experimentais

O estudo foi realizado em três experimentos com tempos distintos de implantação dos tratamentos na Estação Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Embrapa Cerrados) localizada em Planaltina-DF (latitude 15° 36' S; longitude 47° 42', e altitude de 1.014m), em áreas de Latossolo Vermelho argiloso. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é Aw com invernos secos e verões chuvosos e períodos de estiagem no período chuvoso. A precipitação média anual é de 1570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. A vegetação original das áreas é o Cerrado sensu stricto. As áreas amostradas localizam-se num raio de 3 km (Figura 1).



Figura 1. Localização das áreas de cerrado e sítios com experimentos de longa duração (Sítio 32, Sítio 15 e Sítio 12) na Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal.

O primeiro experimento, Sítio 32 (S32), foi instalado em 1979 em área de solo homogêneo (JANTALIA et al., 2007), com parcelas medindo 1250 m<sup>2</sup> (25x50 m) sem delineamento experimental. Consta de oito tratamentos, dos quais foram amostrados dois: Plantio Convencional – preparo anual do solo com arado de discos no pré-plantio, à profundidade de 25 cm, no início do período chuvoso (outubro/novembro); Plantio Direto – semeadura direta desde 1980, em área preparada com arado de discos em 1979. Durante os 32 anos de manejo todos os tratamentos foram cultivados com as mesmas culturas, representadas, principalmente, pela rotação soja-milho. Outros detalhes do experimento foram relatados por Figueiredo et al. (2007) e Ferreira (2013).

O segundo experimento, Sítio 15 (S15), foi implantado no ano agrícola 1996/1997 e consiste de uma combinação de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas, incluindo semeadura direta e pastagem, com alternância no tempo (FERREIRA, 2013). O delineamento experimental é em blocos completos ao acaso, com três repetições. O experimento possui 16 tratamentos, com parcelas medindo 18x22m, dos quais foram avaliados dois: Plantio Convencional - cultivo contínuo com arado de discos e monocultura de soja (1996 a 2011); Plantio Direto - semeadura direta sem safrinha (2000 a 2011) precedido por arado de discos nos dois anos iniciais (1996 e 1997) e arado de aivecas nos dois anos seguintes (1998 e 1999), com rotação anual soja/milho (1996 a 2011).

O terceiro experimento, Sítio 12 (S12), foi implantado no ano de 1999 e consiste de uma combinação de sistemas de preparo do solo, plantio direto e convencional, doses e modos de aplicação de calcário em delineamento de blocos completos ao acaso, num total de 12 tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. Dois tratamentos foram selecionados: Plantio Convencional – preparo anual do solo com arado de discos na profundidade de 25 cm e calagem para elevação da saturação por bases do solo para 50% por ocasião da implantação do experimento e reaplicado no ano de 2010, também para elevar a saturação por bases do solo a 50% e plantio direto, com aração e gradagem apenas no primeiro ano. Nos anos agrícolas de 2000/2001; 2001/2002; 2002/2003; 2003/2004; 2004/2005 e 2005/2006 foram cultivados respectivamente, soja, milho, soja, milho, milho e milho. De 2006/2007 a 2009/2010 a área ficou em pousio e no ano agrícola de 2010/2011 foi cultivado milho. O histórico de cultivo nas áreas experimentais S32, S15 e S12 são apresentadas na Tabela 1. Duas áreas de vegetação nativa foram selecionadas para representarem o tempo zero dos experimentos de manejo

do solo avaliados. Cerrado 1, área referência dos Sítios 32 e 15 e Cerrado 2, área referência do Sítio 12.

Tabela 1. Histórico de plantio nas áreas experimentais com 32 anos de cultivo (S32), 15 anos de cultivo (S15) e 12 anos de cultivo (S12).

		Anos agrícolas																																		
		1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010			
Áreas	Sistemas	Cultivos																																		
S32	SPD e SPC	Arroz	Arroz	Guandu	Soja	Pousio	Pousio	Pousio	Soja	Soja	Milho/Soja	Pousio	Milho	Soja	Soja/Milho	Soja/Milho	Arroz	Soja	Milho	Soja	Soja	Soja	Milho	Milho	Soja											
S15	SPD																																			
	SPC																																			
S12	SPD e SPC																																			

## 4.2. Amostragem de solo

Em cada sítio avaliado amostragens de solo foram realizadas em três pontos aleatórios dentro de cada unidade experimental. Em cada ponto, cinco subamostras eram coletadas perpendicularmente a linha de plantio das culturas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. Assim, cada unidade experimental em cada profundidade foi representada por uma amostra composta de 15 subamostras. As amostras de solo foram realizadas após a colheita das culturas do ano agrícola 2010/2011.

## 4.3. Carbono Orgânico Total (COT) do solo

As análises de carbono total foram realizadas em um analisador elementar CHNS (modelo PE 2400 Série II CHNS /O, PerkinElmer, Norwalk EUA) utilizando cerca de 20 mg de solo previamente peneirado e homogenizado. O material foi digerido na câmara de combustão fechada a 900°C.

Devido à ausência de minerais de carbono no solo estudado, o carbono total, determinada pela metodologia descrita, corresponde ao total carbono orgânico (COT) das amostras.

#### **4.4. Frações oxidáveis de carbono orgânico**

As frações oxidáveis de carbono orgânico foram obtidas através da adaptação do método desenvolvido por Chan et al. (2001).

Amostras de 0,5 g de solo foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, onde se adicionaram 10 mL  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e quantidades de  $H_2SO_4$  correspondentes às concentrações de 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup>. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se como indicador difenilamina 0,16%. Foram obtidas quatro frações, com graus decrescentes de oxidação do C:

- Fração 1 (F1): C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido de 6 mol L<sup>-1</sup> de  $H_2SO_4$ .
- Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> de  $H_2SO_4$ .
- Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> de  $H_2SO_4$ .
- Fração 4 (F4): diferença do COT obtido pelo analisador elementar CHNS e o C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 12 mol L<sup>-1</sup> de  $H_2SO_4$ .

#### **4.5. Concentrações de glomalina facilmente extraível (GFE) no solo**

A glomalina foi obtida de acordo com Wright e Upadhyaya (1998). A GFE foi obtida a partir de 1 g de solo em 8 mL de tampão citrato (20 mM, pH 7,0) e autoclave a 121 °C, durante 30 min. A solução foi centrifugada a 10.000 g por 10 min. O conteúdo de proteína no sobrenadante foi determinado pelo ensaio colorimétrico de Bradford (BRADFORD, 1976) com soro albumina bovina como padrão.

#### **4.6. Determinação do Índice de Manejo do Carbono (IMC)**

O IMC foi determinado por uma sequência de cálculos adaptados. Diferente de Blair et al. (1995), que consideram como carbono biodisponível o carbono oxidável por uma solução de  $0,333 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KMnO}_4$ , neste trabalho o teor de C na fração F1 (Chan et al., 2001) foi considerado como carbono lábil (CL) do solo. Essa adaptação também foi realizada por Guareschi et al. (2013) e Oliveira et al. (2017).

O carbono não-lábil (CNL) foi obtido pela soma de F2 + F3 + F4 do método de Chan et al. (2001). A Labilidade (L) é dada por  $\text{CL}/\text{CNL}$ .

Tendo como base as variações nos teores de COT do solo da área de referência (Cerrado nativo) e do solo cultivado sob SPD ou SPC, foram calculados os seguintes índices: índice de compartimento de carbono ( $\text{ICC} = \text{COT}_{\text{cultivado}}/\text{COT}_{\text{referência}}$ ), Índice de Labilidade ( $\text{IL} = \text{L}_{\text{cultivado}}/\text{L}_{\text{referência}}$ ) e o Índice de Manejo de Carbono ( $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$ ).

#### **4.7. Estatística**

Dentro de cada experimento as variáveis-resposta foram submetidas à análise de variância mediante o uso do procedimento GLM do Aplicativo SAS (SAS Institute, 2000) para verificar a significância dos sistemas de manejo avaliados. Os sistemas de manejo PC, PD e Cerrado foram comparados pelo teste t ( $P < 0,10$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Teor de carbono orgânico total do solo

A distribuição do COT no perfil do solo nos sítios S32, S15 e S12, é apresentada na figura 2.

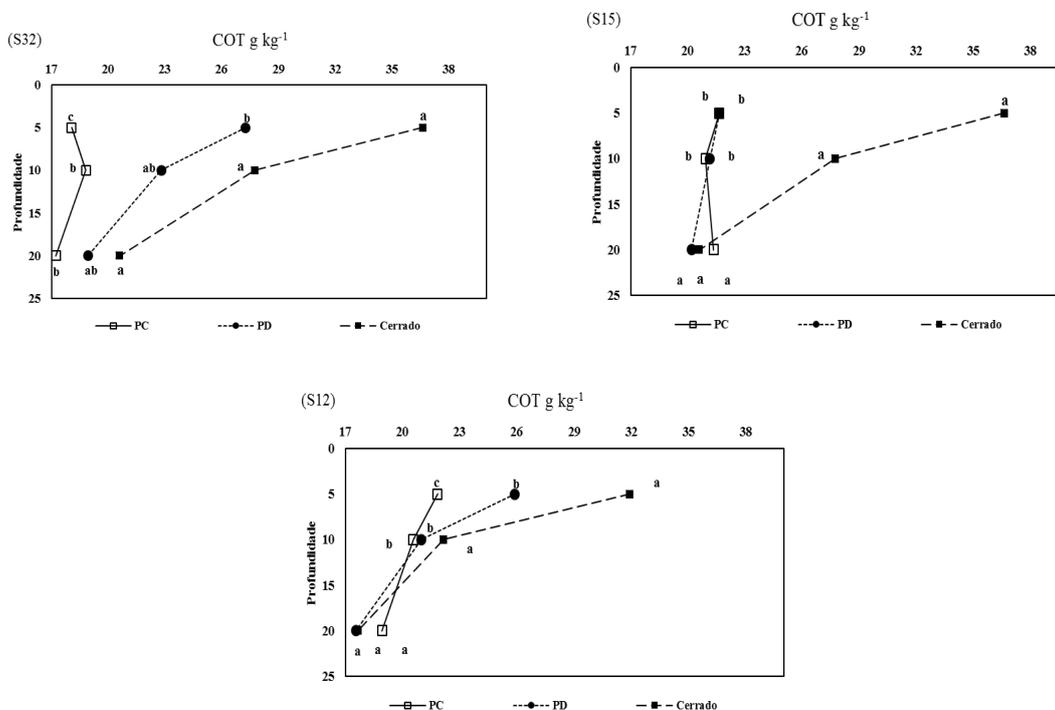


Figura 2. Distribuição do carbono orgânico total (COT) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 anos (S32), 15 anos (S15) e 12 anos (S12) de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste *t* ao nível de 10% de probabilidade.

Em S32, os valores de COT variaram de 17,23 a 36,63 g kg<sup>-1</sup>, onde o maior valor foi encontrado no CER na profundidade de 0-5 cm e o menor valor no tratamento PC em 10-20 cm.

Em CER e PD, observam-se maiores valores de COT na superfície do solo. Já em PC, há uma maior distribuição do carbono no perfil do solo. Em 0-5 cm, as quantidades de COT foram diferentes, onde CER > PD > PC. Em 5-10 cm, o COT do CER é maior que PC, contudo semelhante ao PD. O PD e o PC não diferem quanto ao COT. O mesmo comportamento se repete na profundidade de 10-20 cm.

Os teores de COT para CER e PD, em todas as profundidades, são semelhantes aos números encontrados por Ferreira (2013) na mesma área experimental. Porém, para o PC, as quantidades diferem. Realizando amostragens de solo no ano de 2009, Ferreira (2013) obteve, nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, valores de 20,8, 19,9 e 19,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste trabalho, com amostragem de solo em 2011, observou-se uma redução nestes teores para 18,06, 18,83 e 17,23 g kg<sup>-1</sup> nas mesmas profundidades.

A distribuição do COT no S32 é semelhante ao apresentado por Sá et. al (2009) em um estudo de longa duração no estado do Paraná. Sá et. al (2009) observaram que, após 23 anos de plantio direto e convencional, as variações de COT ocorrem na camada superficial (0-5 cm) e que PD, PC e CER não diferem quanto ao COT nas camadas mais profundas. Contudo, Sá et al. (2009) relataram valores maiores de COT em PD em relação ao CER, diferente dos dados em S32, que mesmo após 32 anos de plantio direto, a quantidades de COT no PD não atingiram as quantidades no CER. Vale ressaltar que no SPD estudado por Sá et. al (2009) foi realizado um cultivo de verão e um cultivo de inverno.

No Sítio 15 (S15), os valores de COT variam de 20,2 a 36,63 g kg<sup>-1</sup>, maior valor em CER (0-5 cm) e menor em PD (10-20 cm). Valores de COT são semelhantes aos encontrados por Ferreira (2013) também nesta área do S15.

Os teores de COT no CER variaram de 36,63 a 20,6 g kg<sup>-1</sup>, decrescendo gradualmente no intervalo de 0 a 20 cm de profundidade. Nos sistemas de cultivo PD e PC houve decréscimos menos acentuados em profundidade em amplitudes de 21,66 a 20,2 g kg<sup>-1</sup> e 21,66 a 21,36 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, após 15 anos de manejo na aérea.

Na superfície, o valor de COT é maior no CER e PD não difere de PC. O mesmo comportamento é observado em 5-10 cm. De 10-20 cm, os valores nos três tratamentos são semelhantes. Rosset et al. (2016), em estudos para avaliar a qualidade do solo após 14 anos de PD, também só encontraram diferenças entre PD e CER nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, onde o CER apresentou o maior teor de COT. A semelhança entre PD e PC ao longo do perfil do solo é explicada por Carvalho et. al (2009), que indica que os aumentos na MOS em áreas de PD comparados com outros sistemas de manejo levam de 10-15 anos para se tornarem significantes, pois o acúmulo de carbono acontece de forma lenta.

Em S12, o maior valor de COT é do CER em 0-5 cm - 31,93 g kg<sup>-1</sup> - havendo um decréscimo de COT na profundidade, 22,16 e 17,66 g kg<sup>-1</sup>. Lembrando que o tratamento CER do S12 é diferente do CER dos sítios S32 e S15. Em PD nota-se uma redução acentuada do COT no perfil do solo enquanto em PC a distribuição é mais uniforme.

Na profundidade de 0-5 cm, o teor de COT é diferente para os três tratamentos, onde o CER>PD>PC, semelhante ao identificado no S32. Contudo, nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm, o mesmo comportamento não foi evidenciado. Em 5-10 cm, o teor de COT do CER é maior que os demais tratamentos e PD e PC não diferem.

Apesar de ter 12 anos da implementação, o S12 ficou por 4 em pousio. Nota-se uma redução no teor de COT no PC na camada de 0-5 cm e, mesmo que não estatisticamente significativo, um valor maior de COT em PC, comparado ao CER, na profundidade de 10-20 cm. Esta forma de distribuição do C nas profundidades foi relatada por Campos et al. (2013) estudando áreas recém cultivadas, com sistemas de plantio direto e convencional com 5 a 9 anos de implantação. Campos et al. (2013) relatam a inversão do teor de COT nas camadas do solo através da aração na abertura de novas áreas de vegetação nativa nos primeiros anos.

Quando se observa a distribuição do COT no perfil do solo em diferentes sítios com diferentes idades de implementação é possível verificar que os efeitos da conversão do CER em cultivo ocorreram sobretudo nos intervalos de 0-5 cm e 5-10 cm de profundidade.

Em 0-5 cm, no S32, ocorreram reduções nos teores de COT de 25 e 51% em PD e PC, respectivamente, em relação ao CER. No S15, as reduções foram de 41% tanto em PD quanto em PC. Já no S12, reduziu 18% em PD e 31,6% em PC. Na profundidade de 5-10 cm, a diminuição de COT foi de 18% em PD e 32,2% em PC, no sítio mais antigo (S32). Em S15, diminuiu 23,7% em PD e 24,6% em PC. No S12, reduções menos expressivas, apenas 5% em PD e 7% em PC. Na profundidade de 10-20 cm, a maior redução em relação ao CER foi em S32 e PC, 16,3%. Nos outros sítios, ocorreram variações menos significativas.

No CER, os maiores teores de COT verificados na camada superficial do solo sugerem maior contribuição do aporte da parte aérea das plantas na forma de serapilheira para a formação da matéria orgânica do solo (MOS) (NARDOTO et al., 2006). Guareschi et al. (2013) também reportam a importância da deposição de

serapilheira e da ausência da ação antrópica para o aumento do teor de MO nas áreas de vegetação nativa. Estes estimaram que 10,07 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de planta são depositados na superfície do solo na área de cerrado. Corbeels et al. (2016) estimam uma deposição de carbono de 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em um SPC e de 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em SPD.

A diminuição dos teores de COT de camadas superficiais decorrente da transformação do Cerrado nativo para sistemas manejados é demonstrada em trabalhos realizados na região (SANTOS, 2010; CUNHA et al., 2012). A diminuição na quantidade de COT em PD e PC é dada pela oxidação da MO reflexo da preparação do solo por aração ou gradagem após abertura da mata nativa no primeiro ano de implementação dos experimentos. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), as perdas da MOS são favorecidas pelo revolvimento do solo e consequente destruição dos agregados, maior fragmentação e incorporação dos resíduos vegetais e diminuição da cobertura do solo. A redução ainda se dá pelo aporte descontínuo de C nas áreas cultivadas, com longos períodos de pousio (período de seca).

Os resultados aqui apresentados ainda indicam que o revolvimento do solo distribui o C no perfil do solo em SPC. Nos sistemas em que o solo é revolvido, a MOS é distribuída por toda a camada arável, o que faz com que os teores de COT em profundidades maiores possam ser semelhantes ou até superiores aos do sistema PD (USSIRI & LAL, 2009). Roscoe & Buurman (2003) ainda apontaram para a alta capacidade protetora dos Latossolos na redução da decomposição da matéria orgânica, mesmo quando submetidos a lavoura convencional. Principalmente, os efeitos de estabilização exercidos sobre a MOS pelo alumínio e oxihidróxidos de ferro em solo tropical.

Após 32 anos, o PC do S32 apresentou os maiores valores de redução do COT em relação a vegetação nativa. As reduções foram de 51% (0-5cm), 32,2% (5-10 cm) e 16,3% (10-20 cm). Esses valores mostram que o fator “tempo” acentua os efeitos do revolvimento do solo e do aporte descontínuo sobre o teor de COT.

## 5.2. Carbono lábil (CL), relação CL/COT, carbono não lábil (CNL) e labilidade (L).

A figura 3 apresenta a distribuição do carbono lábil (CL) no perfil do solo nos três sítios de experimentação.

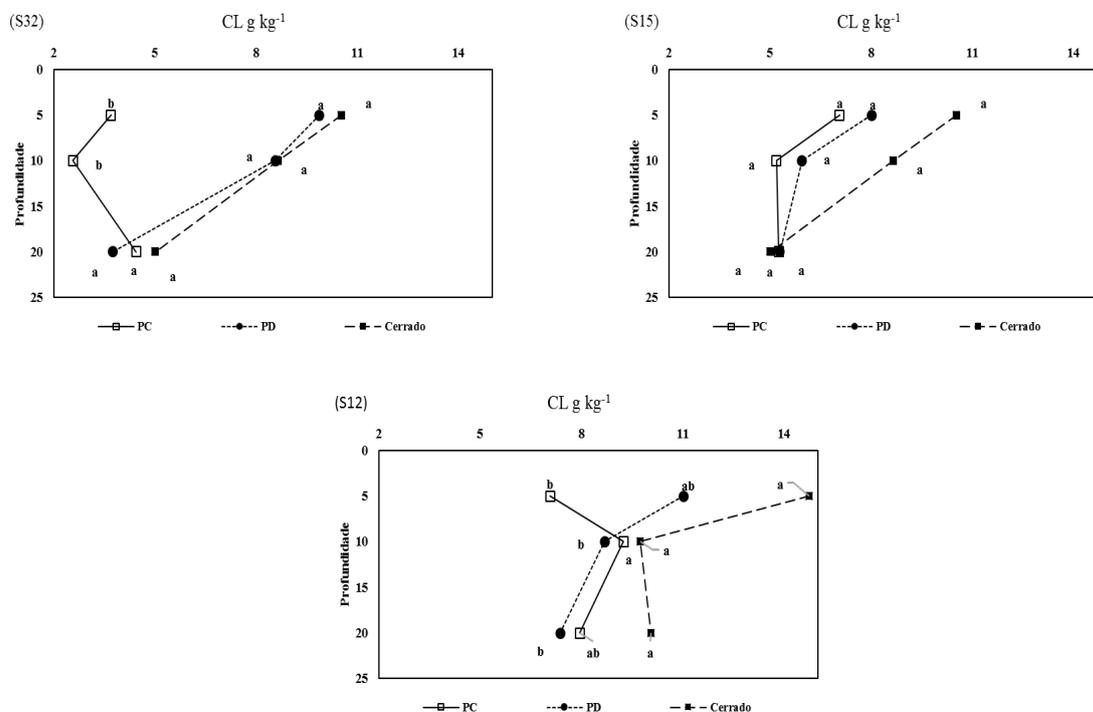


Figura 3. Distribuição do carbono lábil (CL) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 anos (S32), 15 anos (S15) e 12 anos (S12) de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade.

De modo geral, os valores de CL variam de 3,7 a 14,75 g kg<sup>-1</sup>. Valores similares ao deste estudo foram encontrados por outros autores (RANGEL et al., 2008; GUARESCHI et al., 2013; MARTINS et al. 2015). As áreas de CER apresentaram valores superiores da fração mais lábil do C.

Observa-se que variações no CL não foram significativas em nenhuma das profundidades no S15 (figura 3), contudo, variações na fração mais facilmente oxidável do COT apresentaram comportamentos distintos dado ao tempo de implantação dos sistemas de cultivo. Observando a distribuição do CL no perfil do solo e a sua variação nos diferentes sítios, nota-se que, nos primeiros anos de conversão da vegetação nativa em sistemas de cultivo (S12), o revolvimento do solo no plantio convencional causa

inversão do CL, retirando-o da camada superficial e distribuindo nas camadas mais profundas. Com o passar do tempo (S32), os valores de CL no sistema convencional caem dada à oxidação deste material.

Em S32, na profundidade de 0-5 cm, os valores de CL variam de 3,7 a 10,53 g kg<sup>-1</sup>, onde o menor valor foi encontrado no PC e o maior no CER. Isso representa uma redução de aproximadamente 65% do teor de CL (PC em relação ao CER). Ainda nesta profundidade, a quantidade de CL em PD é semelhante ao CER, porém maior que PC. A mesma distribuição é evidenciada na profundidade de 5-10 cm, porém, de 10-20 cm, os valores de CL na vegetação nativa e nos sistemas não se diferenciaram.

Em S12, na profundidade de 0-5 cm, o PC apresentou a menor média e foi diferente apenas de CER, uma redução de 52%. Para a profundidade intermediária (5-10 cm), o menor valor de C na fração lábil foi constatado no PD, e os valores de PC e CER são semelhantes. De 10-20 cm, o CL apresenta o menor valor em PD em relação ao CER, contudo não difere de PC. As relações de diferença ou semelhança encontradas no sítio 12 entre os tratamentos, em todas as profundidades, que tem o menor tempo de conversão do cerrado em áreas de plantio, corroboram com a ideia de que o CL é um indicador prematuro das mudanças que o manejo proporciona no C do solo (CHAN et al., 2001; BARRETO et al., 2011).

Esse padrão de comportamento de maiores valores de CL nas camadas mais superficiais em sistemas sob SPD em relação ao SPC foi observado por Loss et al. (2010). Isso indica que as práticas de aração e gradagem por longos períodos podem diminuir a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, com impactos diretos nas frações mais facilmente oxidáveis da MOS.

A diferença entre teores de CL no PD e PC, em relação ao CER, também é consequência do aporte descontínuo de C no solo.

Na tabela 2 estão os valores de carbono não lábil (CNL), relação carbono lábil e carbono orgânico total (CL/COT) e labilidade (L).

Tabela 2. Teores de carbono não lábil (CNL) ( $\text{g kg}^{-1}$ ), relação carbono lábil e carbono orgânico total (CL/COT) (%) e labilidade (L) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 32, 15 e 12 anos de plantio direto e convencional e sob vegetação de cerrado nativo em Latossolo Vermelho argiloso.

Sítios	Manejos	CNL ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CL/COT (%)	L	
0-5 cm					
S32	CER	26,09a	28,25a	0,40a	
	PD	17,38b	35,96ab	0,57ab	
	PC	14,36c	20,52b	0,26b	
	5-10 cm				
	CER	19,10a	31,81a	0,53ab	
	PD	16,25a	37,57a	0,61a	
	PC	14,22a	13,79b	0,16ab	
	10-20 cm				
	CER	15,58a	25,79a	0,32a	
PD	15,14a	23,74a	0,25a		
PC	12,78b	20,05a	0,35a		
0-5 cm					
S15	CER	26,09a	28,25a	0,40a	
	PD	14,59b	36,87a	0,58a	
	PC	13,65b	32,74a	0,50a	
	5-10 cm				
	CER	19,10a	31,81a	0,53a	
	PD	16,14a	25,09a	0,34a	
	PC	14,98a	28,61a	0,41a	
	10-20 cm				
	CER	15,58a	23,74a	0,32a	
PD	14,90a	26,29a	0,35a		
PC	16,11a	24,66a	0,33a		
0-5 cm					
S12	CER	14,75a	17,17a	1,02a	
	PD	11,02ab	14,88a	0,74a	
	PC	7,07b	16,69a	0,46a	
	5-10 cm				
	CER	9,75a	12,41a	0,78a	
	PD	8,69b	12,31a	0,71a	
	PC	9,25a	11,31a	0,83a	
	10-20 cm				
	CER	7,6b	56,9a	1,31a	
PD	10,18ab	42,08b	0,73b		
PC	10,99a	42,07b	0,73b		

<sup>1</sup>Manejo cerrado nativo (CER), plantio direto (PD) e plantio Convencional (PC)

Em cada sítio, dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não são significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade.

Quando se compara os teores de carbono não lábil (CNL) nos sistemas de cultivo, em relação ao CER, observa-se que o último apresentou maior teor de CNL na profundidade de 0-5 cm tanto no S32 quanto no S15. Os maiores teores de CNL encontrados no solo sob CER se devem a qualidade dos resíduos adicionados que apresentam maiores proporções de carbono mais resistentes do ponto de vista químico e ainda que em áreas de mata os processos de formação de húmus ocorram de modo mais intenso, a ponto do CNL ser sintetizado a maiores taxas em relação às formas de maior oxidação (RANGEL et al., 2008). Ainda na profundidade de 0-5 cm há uma diferenciação entre PC e PD após 32 anos, com quantidades de CNL maiores em PD. Guareschi et al. (2013) considera o aumento do CNL de grande importância para a estabilidade do SPD, pois o C da fração não lábil apresenta uma ciclagem mais lenta em relação ao C lábil e atua como reservatório de nutrientes e também na estabilização químicas do microagregados.

Na profundidade de 10-20 cm, o teor de CNL em S12 há uma inversão, onde o teor de CNL em PC é maior que no CER. Isso pode ser reflexo da distribuição do CNL no perfil do solo do CER, com teores maiores na superfície (17,17 g kg<sup>-1</sup>) e menores na subsuperfície (7,6 g kg<sup>-1</sup>). E também como resultado da incorporação de resíduos de culturas no solo pela ação da aração e gradagem (CORBEELS et al., 2016).

Os valores da relação de CL/COT (tabela 1) revelam que, após longos anos de plantio direto, a relação entre as quantidades CL em relação ao COT é restabelecida nas camadas superficiais. Em S32, nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, os valores de CER e PD são semelhantes. A relação CL/COT também diferencia PD e PC, indicando a importância do não revolvimento na redução das taxas de oxidação da MOS.

A labilidade (L) (tabela 1) estabelece a relação CL/CNL, assim valores maiores que 1 indicam maior quantidade de C na fração lábil. Em S32, de 0-5 cm, a L em PC é menor que CER, porém semelhante ao PD. Já de 5-10 cm, não há diferença estatística entre PD e CER, contudo PD>PC.

Não houve diferença estatística entre os sistemas em nenhuma profundidade do S15. E apenas de 10-20 cm houve diferença no S12, onde a L do CER é maior que PD e PC.

### 5.3. Índice de compartimento de carbono (ICC), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC)

Verifica-se que em todas as profundidades o índice de compartimento de carbono (ICC) foi maior em PD em relação ao PC, no sítio S32 (figura 4). O índice de compartimento de carbono (ICC) representa uma medida sensível das mudanças na dinâmica do carbono do solo entre um sistema manejado e um sistema referência sob condições estáveis.

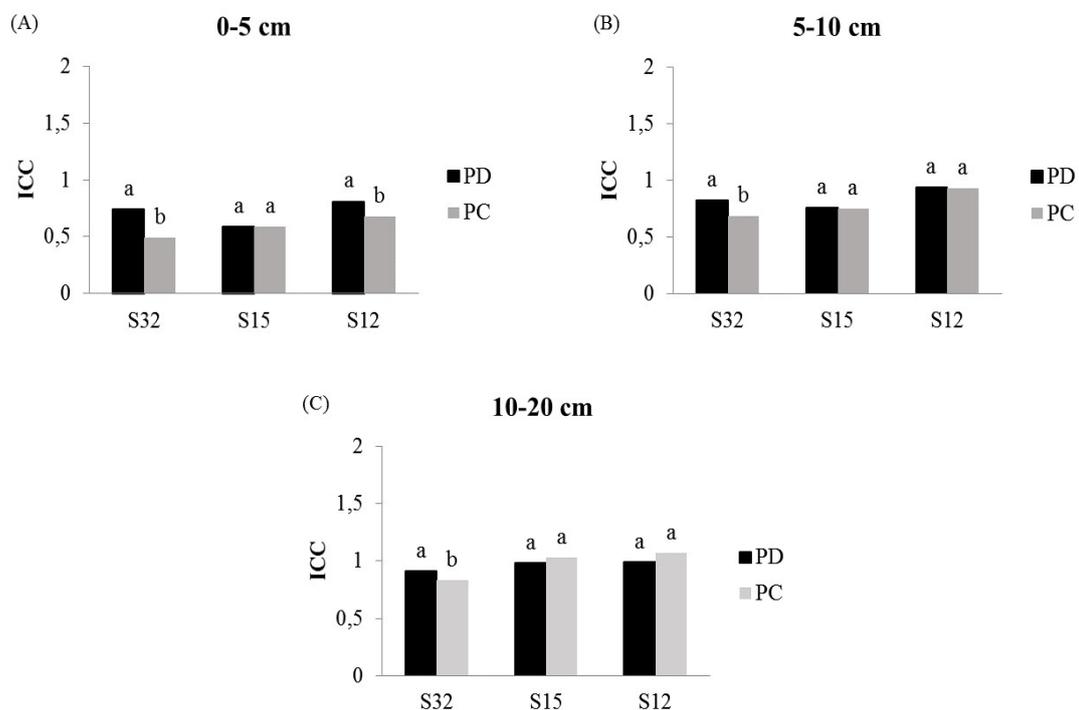


Figura 4. Índice de compartimento de carbono (ICC) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade.

Os valores superiores de ICC em PD, em relação ao PC, indicam que o sistema de plantio direto, após 32 anos, está contribuindo para um aumento dos teores de COT. Porém, os valores de ICC, seja em PD ou PC, são todos menores que 1. Demonstrando que mesmo após um longo período, o acúmulo de COT não foi suficiente para restabelecer os valores da vegetação nativa. Portanto, é necessária a adoção de um

manejo voltado para o maior aporte de resíduos orgânicos no sistema como, por exemplo, cultivos em “safrinha”.

No sítio mais novo, S12, também há diferença estatística entre teores de ICC de 0-5 cm, onde PD>PC (figura 4). Isto pode ser muito mais reflexo do não revolvimento do solo em PD, dificultando a redução de COT, do que do efeito do “acúmulo de matéria orgânica ao longo dos anos” como em S32.

Enquanto o índice de compartimento de carbono (ICC) indica alterações nas quantidades COT, o índice de labilidade (IL) indica uma maior ou menor redução, em relação à vegetação nativa, da biodisponibilidade do C (qualidade).

Os valores do IL de um Latossolo Vermelho argiloso manejado após 32, 15 e 12 anos, em diferentes profundidades, estão representados na figura 5.

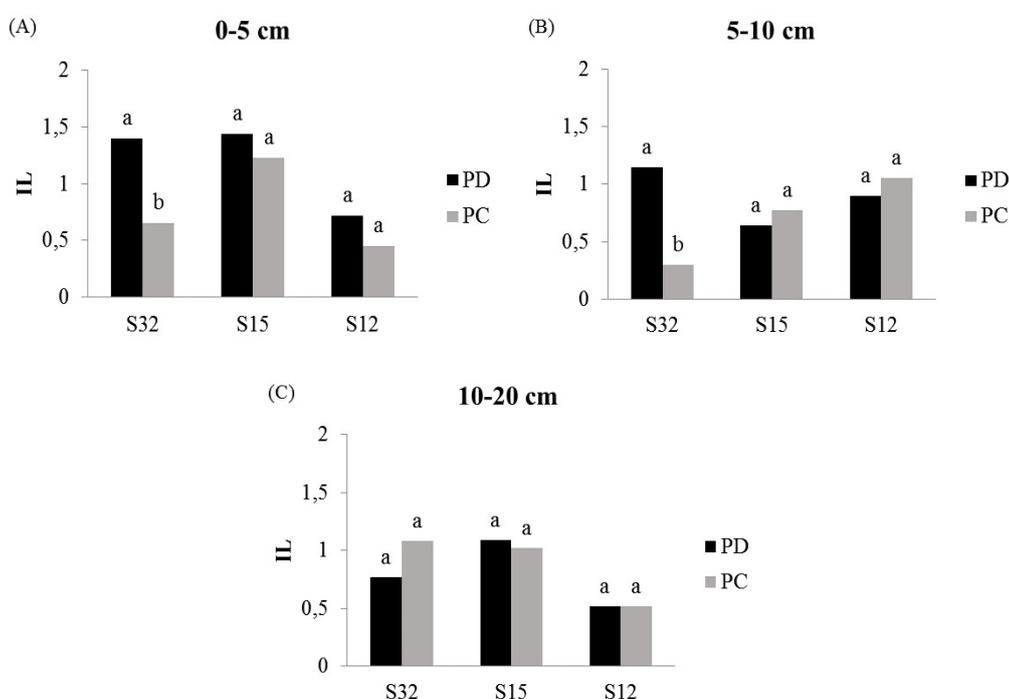


Figura 5. Índice de labilidade (IL) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade.

Após 32 anos (S32), o PD apresentou maior índice de labilidade (IL) quando comparado ao PC nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. Este padrão demonstra que o PD está proporcionando um ambiente menos oxidativo, com maior proteção física da

MOS, favorecendo uma maior proporção do C lábil em comparação ao C total, aumentando o IL (GUARESCHI et al., 2013).

Na camada mais profunda, a lógica se inverte, onde PC é maior que PD. Isso pode ser consequência do revolvimento do solo. Os outros sítios não apresentaram diferenças nesse índice.

Os efeitos dos sistemas de preparo à quantidade e a qualidade da MOS podem ser expressos pelo IMC, composto pelo ICC e o IL. Os valores de IMC nos três sítios de experimentação estão apresentados na figura 6.

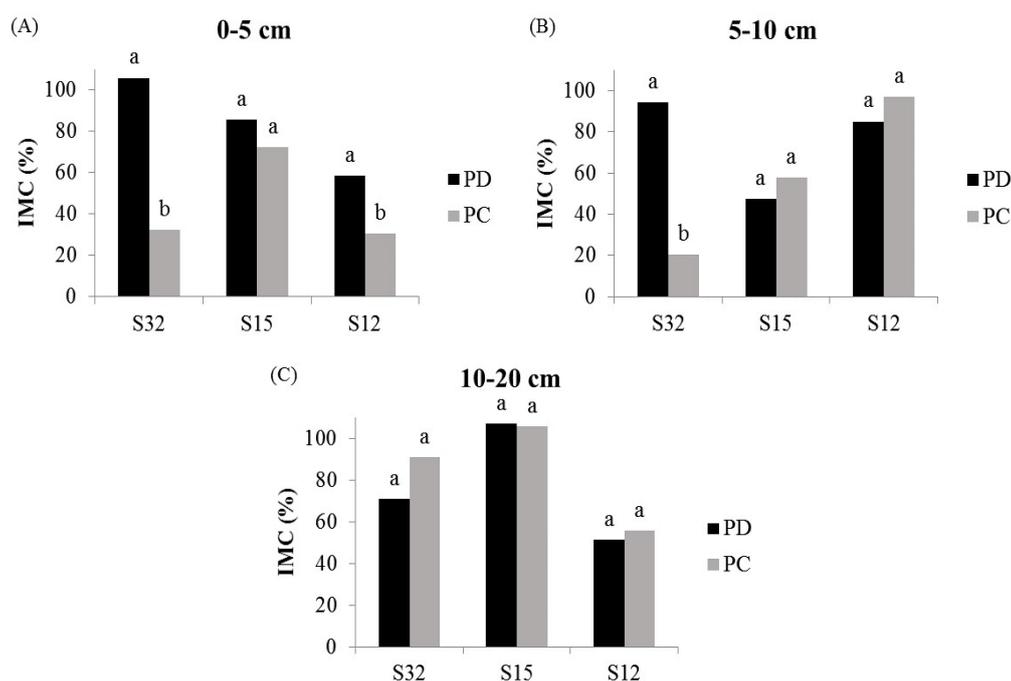


Figura 6. Índice de manejo de carbono (IMC) em um Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B) e 10-20 cm (C) após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos. Na mesma profundidade e dentro do mesmo sítio, médias seguidas por letras minúsculas iguais não significativas pelo teste t ao nível de 10% de probabilidade.

No sítio S32, os valores de IMC foram estatisticamente significativos nas camadas mais superficiais. Na profundidade de 0-5 cm, o valor de IMC do PD é 69% superior ao do PC. De 5-10 cm, a diferença é ainda maior, 78%. No S12, o IMC do PD também é superior ao PC (0-5 cm), mas representado por uma diferença de 47%. O aumento dos valores de IMC mostra que o não revolvimento do solo e o aporte de resíduos vegetais nas camadas superficiais contribuíram para aumentar a capacidade de

preservação e recuperação dos teores e da qualidade das frações orgânicas em relação ao plantio convencional.

Os dados de IMC no S15 não foram significativos.

Valores de IMC inferiores ao da referência (IMC=100) indicam que o sistema de manejo está promovendo um impacto negativo a MOS. Por outro lado valores superiores indicam a capacidade do sistema de manejo melhorar a quantidade e a qualidade da MOS e conseqüentemente a qualidade do solo (BLAIR et al., 1995).

#### 5.4. Glomalina facilmente extraível (GFE)

A distribuição da glomalina facilmente extraível (GFE) no perfil do solo após 32, 15 e 12 anos de manejo e cultivo está apresentada na figura 7. O acúmulo de glomalina no solo depende de vários fatores, incluindo a riqueza dos fungos micorrízicos, a composição da comunidade vegetal, os sistemas de uso da terra e as propriedades do solo (TRESEDER et al., 2007 e SINGH et al., 2016).

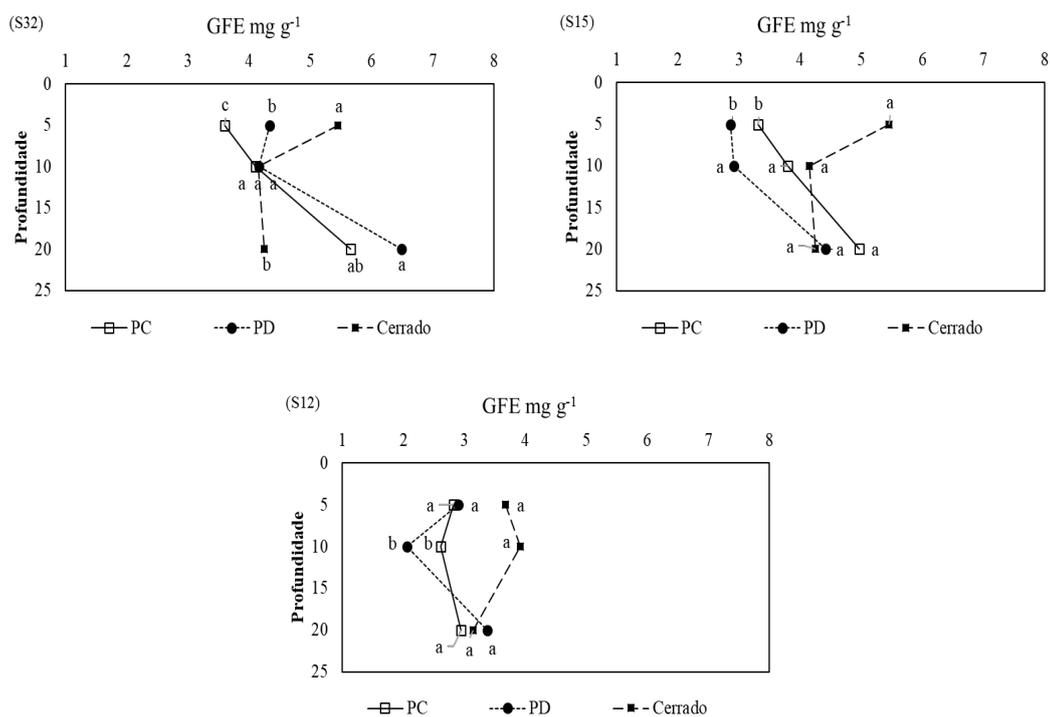


Figura 7. Distribuição da glomalina facilmente extraível (GFE) em profundidade de de um Latossolo Vermelho argiloso após 32 (S32), 15 (S15) e 12 (S12) anos de plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e sob vegetação de cerrado nativo (CER). Dentro de cada profundidade, médias seguidas por letras minúsculas iguais não são significativas pelo teste de t ao nível de 10% de probabilidade.

A quantificação da glomalina pode consistir em um bom indicador de mudanças causadas pelo uso do solo e por isso, poderia se tornar um bom indicador da sua recuperação por atender integralmente os fatores e por ser correlacionada com importantes atributos do solo (RILLIG et al., 2003). Diversos estudos têm também relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados (RILLIG et al., 2003; BIRD et al., 2002).

No S32, os valores de GFE variam de 3,6 a 6,49 mg g<sup>-1</sup> de solo. Os sistemas de manejo e a vegetação nativa se diferenciam quanto a quantidade GFE nas profundidades de 0-5 cm e 10-20 cm. Em 0-5 cm, o teor de GFE é CER>PD>PC. Já de 10-20 cm, o teor de GFE é maior em PD em relação ao CER, porém PD não se diferencia de PD.

No S15, os valores de GFE variam de 2,91 a 5,45 mg g<sup>-1</sup>. Houve diferença estatística apenas na profundidade de 0-5 cm, onde o CER tem mais GFE que PD e PC, e estes últimos não se diferenciam.

Já em S12, os sistemas de cultivo (PD e PC) e CER só diferenciam na profundidade de 0-5 cm, onde o maior valor é encontrado no CER.

Os teores de glomalina encontrados no presente estudo estão próximos aos encontrados por Cogo (2016) e Fokon et al. (2012) em áreas de campo cultivado com amendoim e milho consorciados com mandioca e banana. Entretanto, maiores valores de glomalina podem ser verificados no solo, podendo existir uma ampla variação nos teores encontrados. Em solo de floresta, esses autores encontraram valores de 10,56 mg g<sup>-1</sup>.

A maior presença de GFE em CER corroboram de Rillig et al. (2003), onde os maiores teores de GFE foram encontrados em vegetação nativa. A ausência de intervenções antrópicas promove condições favoráveis ao crescimento fúngico, e conseqüentemente à produção de glomalina (SOUSA et al., 2012).

A diminuição da GFE em sistemas de cultivo dá se devido a perturbação do sistema. Borie et al. (2008) demonstraram o efeito positivo de reduzir-se ou eliminar-se o revolvimento do solo sobre os estoques de glomalina. Além disso, o não revolvimento do solo preserva a integridade das hifas fungicas que são as estruturas produtoras de glomalina, bem como, favorece a formação de agregados estáveis que protegem a molécula da degradação por microrganismos (SOUSA et al., 2012). Outros estudos ainda relatam a importância da glomalina na estabilidade dos agregados, onde a

destruição dos macroagregados do solo provoca diminuição no teor de glomalina (WRIGHT et al., 2000).

A semelhança nos teores de GFE em PD e PC contrariam ainda os dados de Curaqueo et al. (2011), que identificaram maiores valores de glomalina em áreas de PD em relação a área de PC.

A distribuição da GFE no perfil do solo aqui apresentados contraria os dados de Rillig et al. (2003), que mostraram que a glomalina está distribuída de forma decrescente no perfil do solo. Além disso, Bedini et al. (2007), frisam que a glomalina e o carbono orgânico apresentam dinâmicas semelhantes de deposição e decomposição, e que o teor de GFE ainda é positivamente relacionado com teores de carbono ( $r^2=0,896$ ).

Essa estreita relação entre GFE e COT demonstra que quantificação da glomalina pode consistir em um bom indicador de mudanças causadas pelo uso do solo e por isso, poderia se tornar um bom indicador da sua recuperação por atender integralmente os fatores e por ser correlacionada com importantes atributos do solo (RILLIG et al., 2003).

A glomalina facilmente extraível (GFE) representa o material formado recentemente no solo e assim como o CL poderia ser um indicador prematuro das mudanças que o manejo proporciona no C do solo.

De acordo Rillig et al. (2001), os principais fatores que estão envolvidos no controle da produção de glomalina no solo ainda não são claros, e a combinação de concentração de nutrientes, clima, tipo do hospedeiro e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares influencia a deposição dessas proteínas no solo.

A composição da comunidade vegetal também pode influenciar na produção de glomalina pelos FMA nos solos (RILLIG et al., 2003). Em um sistema de rotação com trigo, milho e milheto, concentrações de glomalina foram significativamente maiores em comparação com outros sistemas de rotação que incluíram girassol (WRIGHT et al., 2000), possivelmente devido à baixa dependência desta espécie à associação micorrízica (ESPINOZA-VICTORIA et al., 1993). Solos sob rotação de cultura com período de pousio apresentaram menores concentrações de glomalina que solos sob rotação onde houve cultivo contínuo (WRIGHT et al., 2000).

Apesar da importante contribuição da glomalina, a natureza bioquímica desta proteína ainda não está plenamente compreendida. Além disso, para uma determinação precisa da glomalina nos solos será necessário reformular o protocolo de extração,

reduzindo a interferência de compostos polifenólicos co-extraídos que interferem na quantificação da proteína (SOUSA et al., 2012).

## 6. CONCLUSÕES

1. Após 32 anos, observa-se um acúmulo de COT na superfície do solo no sistema de PD.
2. Após 32 anos, o PC apresentou o maior percentual de redução de COT em relação ao CER.
3. O CL reduziu em 65 %, de 0-5 cm, em PC em relação ao CER após 32 anos de práticas agrícolas.
4. Com 12 anos, a redução de CL na superfície do solo foi de 52% no PC em relação ao CER.
5. O ICC indica que após 32 anos o PD, em relação ao PC, está contribuindo para o aumento de COT.
6. Porém, o mesmo índice (ICC) indica que mesmo após longos anos de cultivo, o acúmulo de COT não foi suficiente para restabelecer os valores de COT da vegetação nativa.
7. O IL maior em PD, em relação os PC, indica que o SPD está proporcionando um ambiente menos oxidativo, com maior proteção física da MOS.
8. O aumento dos valores de IMC mostra que o não revolvimento do solo e o aporte de resíduos vegetais nas camadas superficiais contribuíram para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e da qualidade das frações orgânicas no SPD em relação ao plantio convencional.
9. Os dados de GFE indicam que mais estudos precisam ser feitos, em especial quanto ao método de extração da proteína, para utilizá-la como indicador de qualidade do solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 131, p. 28-35, 2013.

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMARODRIGUES, A.C.; FONTES, A.G.; POLIDORO, J.C.; MOCO, M.K.S.; MACHADO, R.C.R.; BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.81, p.213-220, 2011.

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

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, S. R. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (org). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava, PR: fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. P. 161-188.

BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Zürich, v. 120, n. 2-4, p. 463-466, 2007.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. Soil carbon stock in soil ecoregions of Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth, 2006. p.65-75.

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M. M.; WRIGHT, S. F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. 2. Ed. Porto Alegre: Gênese, 2008. 344p.

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** 46: 1459-1466, 1995.

BORIE F.; RUBIO, R. e MORALES, A., Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.**, 8, pp. 9–18, 2008.

BORIE, F.; RUBIO, R.; MORALES, A. e CASTILLO, C., Relationships between AM hyphal density and glomalin production with physical and chemical characteristics of soils under no-tillage. **Revista Chilena de História Natural.**, 73:749-756, 2000.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 88, n. 1-2, p. 253-261, 2006.

BORTOLUZZI, E.C.; RHEINHEIMER, D. dos S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.507-515, 2009.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** 72:248–254, 1976.

CABRAL, L.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. P.; PEREIRA, J. EDUARDO B. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. **Química Nova**, vol.33, n.1, pp. 25-29, 2010.

CAMPOS, L.P., LEITE, L.F.C., MACIEL, G.A., BRASIL, E.L., IWATA, B.D.F. Stocks and fractions of organic carbon in an Oxisol under different management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 304-312, 2013.

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

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

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

COGO, F. D. Doses de gesso e distribuição em profundidade no solo de fungos micorrízicos arbusculares e glomalina em cafeeiro no cerrado. 2016. 102p. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Lavras, 2016.

CONCEIÇÃO, P. C, BAYER, C., DIECKOW, J., SANTOS, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural** v.44:794-800, 2014.

CORBEELS, M., MARCHÃO, R.L., SIQUEIRA NETO, M., FERREIRA, E.G., Madari, B.E., SCOPEL, E., BRITO, O.R.. Evidence of limited carbon sequestration in

soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Nature Communications** Rep. 6:21450, 2016.

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v. 36 n.2, p. 693-700, 2006.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 16:56–63, 2012.

CURAQUEO, G.; BAREA, J.S; ACEVEDO, E.; RUBIO, R. E CORNEJO, P. Effects of tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. **Soil and Tillage research**, v. 113, p. 11-18, 2011.

DAS, A.; LAL, R.; PATEL, D.P.; IDAPUGANTI, R.G.; LAYEK, J.; NGACHAN, S.V.; GHOSH, P.K.; BORDOLOI, J.; KUMAR, M. Effects of tillage and biomass on soil quality and productivity of lowland rice cultivation by small scale farmers in North Eastern India. **Soil and Tillage Research**, v. 143, p. 50-58, 2014.

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 and Soil**, v. 268, n.1. p. 319-328, 2005.

DORNELES, E. P. Atributos químicos de Argissolo e exportação de nutrientes por culturas sob sistemas de preparo e adubação. 2001. 91 f. **Dissertação (mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, faculdade de Agronomia, Universidade federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, 37, pp. 101–106, 2005.

EMBRAPA. Embrapa mapeia degradação das pastagens do Cerrado. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-docerrado>>, 2014.

ESPINOZA-VICTORIA, D.; QUINTERO-RAMOS, M.; FERRERA-CERRATO, R.; BETHLENFALVAY, G. J. Fitting plants to soil through mycorrhizal fungi –Plant nutrition in host-endophyte combinations evaluated by the diagnosis and recommendation integrated system. **Biology and Fertility of Soils**, Germany, v. 15, n. 2, p. 96-102, 1993.

FERREIRA, E.A.B. Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no Cerrado. **Tese**. Universidade de Brasília: Instituto de Ciências Biológicas. 235p. 2013.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B.; RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:551-562, 2007.

FINLAY, R., Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. **J. Exp. Bot.** 59, 1115–1126, 2008.

FOKOM, R., ADAMOU, S., TEUGWA, M.C., BEGOUDE, B.A.D., NANA, W.L., NGONKEU, M.E.L., TCHAMENI, N.S., NWAGA, D., NDZOMO, G.T., ZOLLO, P.H.A. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as

affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil Tillage Research**. 120, 69e75, 2012.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.285-309, 1994.

GONZALEZ-CHAVEZ, M.C.; CARRILLO-GONZALEZ, R.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution** 130:317–32, 2004.

GUARESCHI, R.F; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbono fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista de Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n.2, p. 242-250, 2013.

GUEDES FILHO, O., SILVA, A.P., GIAROLA, N.F.B., TORMENA, C.A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, 204/205:94-101, 2013.

HAN, L.; SUN, K.; JIN, J.; XING, B. Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology and Biochemistry**, v.94, p.107-121, 2016.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. Palha: Fundamento do sistema plantio direto. In: HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. (Org). **7º Coleção sistema plantio direto**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2002. p. 1- 25. (7 Coleção plantio direto).

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, 2012.

HONTORIA, C.; GÓMEZ-PACCARD, C.; MARISCAL-SANCHO, I.; BENITO, M.; PÉREZ, J.; ESPEJO, R. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil and Tillage Research**, v.160, p.42-52, 2016.

HOORMAN, J. J. Using cover crops to improve soil and water quality. Lima, Ohio: **Agriculture and Natural Resources**, The Ohio State University Extension; 2009.

JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.R.J.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil Tillage Research**, 95:97-109, 2007.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZ, S. I. S.; PEROTTO, K.; TURNAU e BAREA , J.-M., The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, 37, pp. 1–16, 2003.

LIANG, W.J., Effect of tillage system on GRSP in an Aquic Brown Soil. **Research Journal of Biotechnology**, China, Vol. 5 (3), 2010.

LIEBIG, M., CARPENTER-BOGGS, L., JOHNSON, J.M.F., WRIGHT, S., BARBOUR, N., Cropping system effects on soil biological characteristics in the Great Plains. **Renewable Agriculture and Food Systems** 21:36–48, 2006.

LIMA FILHO, O. F., AMBROSANO, E. J., ROSSI, F., CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa; 2014. v.1.

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

LOSS, A., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C., GIACOMO, S. G, PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:568-76, 2011.

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

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A., Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 36, 1009–1012, 2004.

LUTGEN, E.R; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J. E RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalina in a Montana grassland. **Plant and soil**, 257:71-83, 2003.

MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; SENNA, O.T.; MENDONÇA, E.S.; ARAUJO, J.A., Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems** 71: 127-138, 2007.

MAJUMDER, B. et al. Organic amendments influence soil organic carbon pools and rice-wheat productivity. **Soil Science Society of America journal**, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2008.

MARCHÃO, R.L., BECQUER, T., BRUNET, D., BALBINO, L.C., VILELA, L., BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil Tillage Research**. 103, 442–450, 2009.

MARTINS, C.M., COSTA, L.M., SCHAEFER, C.E.G.R., SOARES, E.M.B., SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, Mossoró , v. 28, n. 4, p. 10-20, Dec. 2015.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C. & LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:425-433, 2003.

METAY, A.; MOREIRA, J, A, A.; BERNOUX, M.; BOYER,T.; DOUZET, J.M.; FEIGL, B.; FELLER, C.; MARAUX, F.; OLIVER, R.; SCOPEL,E. Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil and Tillage Research**, v. 94, n.1, p. 122-132, 2007.

NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KLINK, C. A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, 2006, p. 191-201.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**., 170, pp. 985–997, 2005.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Contributions of fungi to soil organic matter in agroecosystems, F. Magdoff, R.R. Weil, Editors, Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture, **CRC Press**, Boca Raton, pp. 179–198, 2004.

NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2425-2433, 2008.

OLIVEIRA, D. M. da S., PAUSTIAN, K., COTRUFO, M. F., FIALLOS, A. R., CERQUEIRA, A. G., CERRI, C. E. P., Assessing labile organic carbon in soils undergoing land use change in Brazil: A comparison of approaches, **Ecological Indicators**, Volume 72, 411-419, 2017.

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

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: limitations, progress, and new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, 51, pp. 123–130, 2007.

PURIN, S; KLAUBERG FILHO, O., Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: José Oswaldo Siqueira; Francisco A. de Souza; Elke J.B.N. Cardoso; Siu Mui Tsai. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, v. , p. 503-524, 2010.

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

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; KIMBALL, B.A.; LEAVITT, S.W. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a Sorghum field: a possible role for arbuscular mycorrhizal fungi. **Global Change Biology** 7: 333–337, 2001.

RILLIG, M.C., Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. Journal Soil Science.*, 84, pp. 355–363, 2004.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F. e TORN, M.S., Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungito soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, 233, pp. 167–177, 2001.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A., Glomalin, an arbuscular–mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil** 253: 293–299, 2003.

ROSCOE, R., BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil Tillage Research**. 70, 107–119, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agro. Oeste. Embrapa Solos, 2002.

ROSIER, C.L., HOYE, A.T., RILLIG, M.C., Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology & Biochemistry** 38, 2205–2211, 2006.

ROSSET, J.S.; LANA, M.C.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; RAMPIM, L.; SARTO, M.V.M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 252-258, 2015.

RUIZ-LOZANO, J.M.; PORCEL, R.; AROCA, R., In: Varma, A. (Ed.), Evaluation of the Possible Participation of Drought-Induced Genes in the Enhanced Tolerance of Arbuscular Mycorrhizal Plants to Water Deficit. *Mycorrhiza*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 185–205, 2008.

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**, 32:11-21, 2008.

SANTOS, J. B. Carbono e nitrogênio em classes de solos com diferentes texturas e tempo de adoção do sistema plantio direto - espacialização e contribuição do sistema. **Tese de doutorado em produção vegetal**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 145p., 2010.

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

SAS Intitute. User's Guide: version 8.0. Cary, 2000.

SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de seqüestro de carbono no solo. 2007. 131f. **Tese (Doutorado)** - Universidade de São Paulo – Instituto de Química de São Carlos, São Paulo.

SILVA, G.N., ANDRADE BONETTI, J., SOUZA, E.D., PAULINO, H.B.; CARNEIRO, M.A.C. Management systems and soil use on fractions and stocks of

organic carbon and nitrogen total in cerrado latosol. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, 2016.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In.: Vargas, M. T. **Biologia dos solos dos cerrados**, 1997.

SINGH, A.K., RAI, A., SINGH, N. Effect of long term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain. **Geoderma** 277, 41e50, 2016.

SMITH, S.E.; READ, D.J., Mycorrhizal Symbiosis, (third ed.), **Academic Press**, Amsterdam, 2008.

SOUSA NETO, E. L., ANDRIOLI, I.; ALMEIDA, R.G.; MACEDO, M.C.M.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 608-618, 2014.

SOUSA, C.D., MENEZES, R.S.C., SAMPAIO, E.V.D.B., LIMA, F.D. Glomalin: characteristics, production, limitations and contribution to soils. **Semina: Ciências Agrárias** 33, 3033–3044., 2012.

SOUZA, E.D., CARBONE, M.A., PAULINO, H.B., RIBEIRO, D.O., BAYER, C.; ROTTA, L.A. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de "campos de murundus" em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , v. 51, n. 9, p. 1194-1202, 2016.

SPOHN, M.; GIANI, L., Water-stable aggregates, glomalin-related soil protein, and carbohydrates in a chronosequence of sandy hydromorphic soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 42 ,pp. 1505–1511, 2010.

STEINBERG, P.D.; RILLIG, M.C., Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology and Biochemistry** 35: 191–194, 2003.

TAN, K. H. Degradation of soil minerals by organic acids. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. **Soil Science of America**, 1986.

TOMAZI, M. Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do Cerrado sob sistemas de uso manejo. 2008. 106p. **Tese (Doutorado)** – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TRESEDER, K.K., TURNER, K.M., MACK, M.C., Mycorrhizal responses to nitrogen fertilization in boreal ecosystems: potential consequences for soil carbon storage. **Global Change Biology** 13, 78-88, 2007.

USSIRI, D.A.N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an Alfisol in Ohio. **Soil and Tillage Research**, v.104, p.39-47, 2009.

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

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B. e UPADHYAYA, A., Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant Soil** 181, 193–203, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A., A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil** 198, 97–107, 1998.

WRIGHT, S.F; ANDERSON, R.L., Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soil**, 31 , pp. 249–253, 2000.

WRIGHT, S.F.; GREEN, V.S.; CAVIGELLI, M.A., Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil Tillage Res.** 94, 546–549, 2007.

ZHU, Y.G.; MILLER, R.M., Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. **Trends Plant Sci.** 8, 407–409, 2003.

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

ZOTARELLI, L., ZATORRE, N. P., BODDEY, R. M., URQUIAGA, S., JANTALIA, C. P., FRANCHINI, J. C., ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Res.**, 132, pp. 185–195, 2012.