

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**APORTE DE CARBONO AO SOLO POR SISTEMAS DE
MONOCULTURA, SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE
CULTURAS**

MATEUS LUIZ SECRETTI

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

APORTE DE CARBONO AO SOLO POR SISTEMAS DE MONOCULTURA, SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS

MATEUS LUIZ SECRETTI

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S446a Secretti, Mateus Luiz
APORTE DE CARBONO AO SOLO POR SISTEMAS DE
MONOCULTURA, SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS / Mateus Luiz
Secretti -- Dourados: UFGD, 2017.
74f. : il. ; 30 cm.

Orientador: LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Rotação de culturas. 2. Sucessão de Culturas. 3. Massa seca. 4. Estoque de
carbono. 5. Sistema plantio direto. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

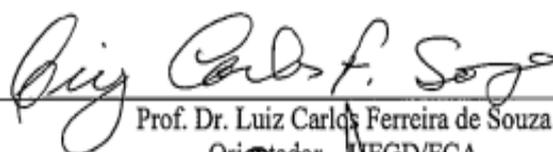
**APORTE DE CARBONO AO SOLO POR SISTEMAS DE
MONOCULTURA, SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE
CULTURAS**

por

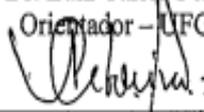
Mateus Luiz Secretti

Defesa apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

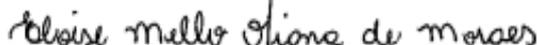
Aprovado em: 03/03/2017



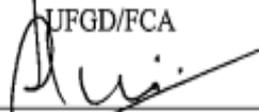
Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
Orientador - UFGD/FCA



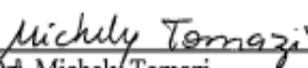
Prof. Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino
UFGD/FCA



Prof. Dr. Eloise Mello Viana de Moraes
UFGD/FCA



Dr. Júlio Cesar Salton
EMBRAPA



Dr. Michely Tomazi
EMBRAPA

Aos meus pais Lauro e Lurdes

À minha irmã Viviana.

DEDICO

*“O tempo corre veloz e a vida escapa das nossas mãos.
Mas pode escapar como areia ou como semente.”
Thomas Merton.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde, força e me guiar nesta jornada.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pelo ensino gratuito e de qualidade. À CAPES, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, um exemplo de profissional, pela Orientação, pelos conhecimentos compartilhados e todo apoio para a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia pelos ensinamentos e experiências compartilhados que me fizeram um profissional mais capacitado.

Aos funcionários da Fazenda Experimental da UFGD, que auxiliaram no trabalho de campo.

À minha família que sempre esteve ao meu lado.

Aos colegas de iniciação científica, voluntários, estudantes de mestrado e doutorado que auxiliaram nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos meus amigos Danieli Pieretti, Giovane Piletti e Ligia Piletti que estiveram presentes durante todos os momentos deste trabalho pela colaboração. Ao meu amigo Leandro Almeida que sempre me dispôs de sua ajuda. A minha colega de trabalho e amiga Mariana Zampar pelo apoio e incentivo sempre. Ao professor Júlio Cesar Salton pelo auxílio e exemplo de profissional. Ao professor Antônio Carlos Tadeu Vitorino “Totó” pelo exemplo de professor. Ao senhor Willian Marra da Embrapa por viabilizar o uso do laboratório para realização das análises. À todos meus amigos e colegas de trabalho que torceram para que este dia chegasse. Meus sinceros agradecimentos pelas palavras de coragem e ânimo que me fizeram mais forte.

Aos membros das bancas de qualificação e pré - defesa pelas valiosas contribuições.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
1.1. Sistema plantio direto.....	4
1.2. Rotação de culturas	6
1.2. Matéria orgânica do solo	9
1.3 Carbono da matéria orgânica e sua dinâmica.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1 Local, clima e solo	16
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	17
2.3 Variáveis analisadas	20
2.3.1 Massa seca.....	20
2.3.2 Estoque de carbono.....	20
2.3.3 Taxa de acúmulo de carbono orgânico (TAC)	22
2.3.4 Dinâmica da matéria orgânica.....	22
2.4 Análise estatística.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1. Massa seca das culturas de outono-inverno	25
3.2. Carbono no solo	38
3.3. Taxa média de acúmulo de carbono orgânico.....	49
3.4. Dinâmica da matéria orgânica.....	51
4. CONCLUSÕES.....	55
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	72

APORTE DE CARBONO AO SOLO POR SISTEMAS DE MONOCULTURA, SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS

RESUMO

Perda na qualidade dos solos pelos cultivos consecutivos e a baixa diversidade de espécies cultivadas, como a sucessão e o monocultivo, gerando declínio nos sistemas produtivos e altos custos. Objetivou-se estudar as variações de aporte de carbono ao solo cultivado com combinações de culturas em Mato Grosso do Sul. A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, Dourados, MS e desenvolveu-se nas safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16, sendo conduzido em delineamento em blocos casualizados com dez tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a sequência de culturas de outono-inverno em cada ano: 2013: pousio; milho; milho+braquiária; milho; braquiária; trigo; pousio; nabo; ervilhaca; *Crotalaria ochroleuca*. 2014: pousio, milho; milho+braquiária; milho; feijão; nabo; pousio; cártamo; aveia; combinado (nabo+ervilhaca+aveia). 2015: pousio; milho; milho+braquiária; milho; braquiária mais ervilhaca; trigo pousio; *Crotalaria spectabilis*; combinado (nabo+ervilhaca+aveia). Foram avaliados a quantidade de massa seca aportada sobre cada sistema, estoque de carbono orgânico total em diferentes camadas, taxa de acúmulo anual de carbono e taxa de acúmulo de carbono em função do tempo pela equação de Henin e Dupuis (1945). As comparações das médias foram feitas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Para analisar os coeficiente K_1 e K_2 e a dinâmica da matéria orgânica os valores foram comparados numericamente. Os tratamentos T3 e T5 apresentam maiores valores de estoque total de carbono ao solo, após seis anos de condução. Conforme o modelo de Hennin e Dupuis (1945) os sistemas T1, T2, T4 e T7 resultam em perda do estoque de C no solo, e assim não são sustentáveis sob o aspecto agrônômico.

Palavras-chave: rotação de culturas, sucessão de culturas, massa seca, estoque de carbono, sistema plantio direto.

CARBON SUPPLIED TO SOIL IN SINGLES, SUCESION AND ROTATION CROP SYSTEMS

ABSTRACT

Losses in soil quality due to monocropping practice and low diversity among species cultivated. It decreases productivity and increases costs with soil management in order to improve soil quality. The objective of this work was to study the variations of carbon input to soil cultivated with crop combinations in Mato Grosso do Sul. The research was conducted at the Experimental Farm of Faculdade de Ciências Agrárias of UFGD, Dourados, MS, Brazil during the crops of 2013/14, 2014/15 and 2015/16. The treatments were arranged in randomized blocks design, each one with ten treatments and four repetitions. The treatments correspond to the following sequences of fall and winter crops of 2013: fallow; maize; maize+*Brachiaria*; maize; *Brachiaria*; wheat; fallow, turnip, vetch, *Crotalaria ochroleuca*. 2014: fallow, maize; maize+*Brachiaria*; maize; bean; turnip; fallow; safflower; oat; mix (turnip+vetch+oat). 2015: fallow; maize; maize+*Brachiaria*; maize; *Brachiaria*+vetch; wheat; fallow; *Crotaria spectabilis*; mix (turnip+vetch+oat). The following parameters were evaluated: dry matter added to each system, soil organic carbon stocks in different layers of the soil and carbon accumulation annual rate through the equation proposed by Henin & Dupuis (1945). The statistical mean comparisons were made by the Scott-Knott 5% probability test. A numerical comparison was made in order to analyze K_1 and K_2 coefficients and soil organic matter dynamics. The treatments T3 and T5 present higher values of total carbon stock to the soil, after six years of conduction. According to the model of Hennin and Dupuis (1945) the T1, T2, T4 and T7 systems result in loss of C stock in the soil, and thus are not sustainable under the agronomic aspect.

Keywords: crop rotation, succession planting, dry matter, SOC stock, no-till farming.

1. INTRODUÇÃO

O avanço dos sistemas produtivos sem planejamento e o preparo intenso dos solos têm limitado, ao longo do tempo, o aumento da produção, causando a deterioração da qualidade dos solos. Em vista disso, tem crescido e difundido o uso de sistemas conservacionistas como é o caso do sistema plantio direto, que diminui o revolvimento do solo e melhora suas condições físicas, químicas e biológicas do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011).

Para estimular a adoção destas práticas mais sustentáveis, o país oferece alguns incentivos governamentais, para disponibilizar recursos para agricultores que adotam técnicas agrícolas sustentáveis, com o objetivo também de reduzir a emissão de gases do efeito estufa (BRASIL, 2010).

Contudo, é indispensável que algumas premissas sejam consideradas para que se obtenha sucesso na implantação e manutenção de sistemas sustentáveis como o caso do sistema plantio direto, como a deposição de resíduos vegetais sobre a área, o não revolvimento do solo e a rotação de culturas (BOLLIGER et al., 2006; FRANZLUEBBERS, 2007). Dessa forma, verifica-se uma interação positiva entre o uso de culturas de cobertura e o sistema plantio direto, que resulta na gradativa melhoria da qualidade do solo. Esse efeito combinado de cobertura e o não revolvimento do solo, é um dos fatores-chave para o sucesso do sistema em condições de clima tropical e subtropical (BOLLIGER et al., 2006).

Como requisito indispensável, é necessário que haja uma boa formação de cobertura vegetal na superfície do solo para implantação do sistema plantio direto (ALVARENGA, 2001), cuja permanência na superfície depende da taxa de decomposição de cada cultura (KLIEMANN et al., 2006), o que traz a necessidade de diversificação para cada região.

Na região do Cerrado, onde as condições climáticas são consideradas limitantes para o acúmulo e a manutenção de cobertura do solo por períodos longos, a escolha da cultura utilizada para cobertura de solo vem assumindo um papel de grande importância. O cultivo de diversas plantas de cobertura antecedendo a cultura do milho, por exemplo, pode resultar em aumento de produtividade, seja pelo cultivo de uma espécie de leguminosa que reduz a necessidade de adubo nitrogenado (AMADO et al.,

2002) ou pelo cultivo de gramíneas que, com maior relação carbono/nitrogênio (C/N), proporcionam um período maior de cobertura do solo, devido à sua decomposição mais lenta (CERETA et al., 2002).

O melhor aproveitamento dos benefícios das culturas agrícolas, como a capacidade de sequestrar carbono no solo, e, conseqüentemente, a redução no uso de fertilizantes, ainda é um desafio. A adoção do sistema plantio direto com elevado aporte de resíduos tem capacidade de recuperar a matéria orgânica perdida em cultivos que revolvem o solo, em período de tempo mais curto (BAYER e MIELNICZUK, 1997; LOSS et al., 2011). Bayer et al. (2000 a) afirmam que a utilização do sistema plantio direto por período longo e contínuo, com a adoção da rotação de culturas e a deposição de massa seca diversificada sobre o solo, promoveram um acúmulo significativo de carbono orgânico nas primeiras camadas do solo quando comparado com sistema de cultivo do tipo convencional em que há revolvimento do solo.

Diferentes formas de manejo do solo podem influenciar a dinâmica e, conseqüentemente, o teor de carbono, principal constituinte da matéria orgânica. Devido a estreita relação entre o teor de matéria orgânica e os demais atributos do solo, as variações em seu conteúdo afetarão as condições consideradas satisfatórias para a produtividade (BAYER et al., 2000a; GARCIA et al., 2013; CASTRO et al., 2015).

Tem-se aumentado a busca por sistemas que propiciam aumento no teor de carbono do solo, como é o caso de conservacionistas (sistema plantio direto), pelas vantagens geradas (SANTOS et al., 2008; CHIODEROLI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013). A utilização da rotação de culturas, premissa do sistema plantio direto é considerada uma prática muito importante no que tange o sucesso desse sistema, pode ser utilizada principalmente por produtores que têm safra de verão com maturação tardia e acabam perdendo o período ideal de implantação do milho safrinha, cultura de outono inverno comum no estado de Mato Grosso do Sul. Essa cultura semeada tardiamente corre mais risco de perdas por geadas, por isso é importante que perante esta situação o produtor tenha mais opções de cultivo no período de outono-inverno.

Várias são as formas citadas na literatura para quantificar o efeito de sistemas de manejo sobre os fluxos de carbono no sistema solo-planta-atmosfera (JANZEN et al., 1998). De acordo com Costa et al. (2006), o equilíbrio de carbono no sistema depende da quantidade de carbono oriundo da fotossíntese das plantas presentes na área e das perdas de carbono para o ambiente, resultantes da oxidação microbiana

que transforma carbono da matéria orgânica em dióxido de carbono (CO₂), que podem ser quantificadas a partir de comparação entre sistemas produtivos e valores iniciais de referência (sistemas nativos).

De acordo com Bayer et al. (2000 b), as variações no estoque de matéria orgânica do solo são extremamente lentas, o que dificulta sua visualização em experimentos de curto prazo, embora possa variar de acordo com as condições climáticas de cada região. Diante disto, vem se utilizando modelos matemáticos que auxiliam na interpretação dos resultados e que possibilitam a simulação de estoques de matéria orgânica no solo.

Em razão dos argumentos e informações expostas, este trabalho foi concebido com base em três hipóteses: sistemas com diversificação de espécies cultivadas no período de outono-inverno promovem elevado acúmulo de massa seca sobre o solo; sistemas amplamente diversificados, com alto aporte de massa seca e diferenciado potencial de exploração do solo pelo sistema radicular das espécies que o compõem, acumulam mais carbono em relação aos sistemas caracterizados como monocultivo ou sucessão; a equação de Henin e Dupuis (1945) pode ser utilizada como indicativo para escolha de um sistema de manejo conservacionista.

Objetivou-se estudar as variações de aporte de carbono ao solo cultivado com combinações de culturas em Mato Grosso do Sul.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Sistema plantio direto

A população crescente e a disponibilidade de recursos naturais progressivamente em baixa, faz com que a sustentabilidade seja uma exigência que se faça a qualquer sistema produtivo, o qual precisa adotar práticas que maximizam seus resultados positivos e reduzam consideravelmente os impactos negativos causados, visando sempre o moderno conceito de sustentabilidade, que se baseia em conciliar o resultado econômico com a preservação ambiental e interesse social. Sendo a agricultura a atividade humana que mais ocupa terras, mais consome água e ao mesmo tempo mais emprega pessoas e, perante esses dois primeiros fatores têm recebido constantemente críticas devido ao amplo impacto ambiental negativo que tem causado, como afirmam Gomes et al. (2009); Rajji (2011).

O International Plant Nutrition Institute - IPNI (2013), ressalta a necessidade de se avaliar e implementar práticas de manejo agrícolas que viabilizem a elevação de produtividade, bem como de preservação do ambiente de maneira geral. Diante disto, são descritos alguns manejos que podem influenciar e se constituir em um melhor conjunto de práticas para uma determinada área, de modo que sempre se vise a flexibilidade de cada fator envolvido.

Em um sistema agrícola, há dois fatores determinantes que recebem ênfase: as espécies a serem cultivadas e os seus potenciais. Já que o seu sucesso depende em grande parte desses dois componentes que podem ser abrangidos pelos seguintes fatores específicos: o potencial de rendimento e o valor da cultura, fator produtor, que se refere ao nível de conhecimento e capital disponível; fatores relacionados à entrada de nutrientes, como utilização de resíduos culturais ou formulados químicos; qualidade da água e fatores climáticos, que interferem diretamente no desempenho das espécies a campo; a tecnologia utilizada e fatores de investimentos econômicos; e por último, porém não menos importante, os fatores relacionados ao solo, como seus atributos físicos, químicos e biológicos (IPNI, 2013).

O sistema plantio direto é uma técnica aplicada aos sistemas agrícolas intensivos considerada uma das ambientalmente mais corretas e com reconhecimento

mundial, pelo fato de agregar em seus preceitos a sustentabilidade, além de apresentar a capacidade de sequestrar carbono, incrementar a biodiversidade e contribuir positivamente para o ciclo hidrológico. A técnica está sendo amplamente difundida por não degradar o solo, e manter a qualidade da área para plantios seguintes. Além disso, esse sistema de cultivo pode ser ajustado a qualquer bioma e garante a chance de introduzir novas culturas em uma mesma área, por meio do processo rotativo de culturas usado para conservar a saúde e fertilidade do solo (MOTTER et al., 2015).

O sistema plantio direto foi implantado na agricultura brasileira a partir da década de 1970. Essa técnica entrou no país por meio de agricultores paranaenses, que buscavam, na época, técnicas inovadoras na Inglaterra e nos Estados Unidos. Foi, primeiramente, nos Estados Unidos que essa técnica foi observada e as primeiras informações foram transmitidas aos agricultores, que, a princípio, tiveram dificuldades em adaptar os equipamentos agrícolas e empregá-los nas lavouras em regiões com clima tropical e subtropical temperado (GARCIA et al., 2013; MOTTER et al., 2015).

Desde então, o estado do Paraná se tornou referência na implementação e nas tecnologias que envolvem o sistema plantio direto. Um fator de grande influência na expansão inicial do sistema plantio direto, foram os subsídios e a facilidade de crédito proporcionada pela política de modernização da agricultura brasileira, que serviu de estímulo aos produtores, devido às vantagens e benefícios advindos da adoção do sistema (FANCELLI et al., 1985; ALVIM e OLIVEIRA JÚNIOR, 2005).

Desta forma, o desenvolvimento e o estabelecimento desse sistema só se tornaram possíveis graças ao trabalho em conjunto de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras e outros implementos agrícolas, alguns técnicos interessados em reverter o processo acelerado de degradação do solo e da água verificado em nosso país, além dos incentivos políticos (LOPES et al., 2004; SILVA et al., 2011). Oliveira et al. (2002) relatam que o sistema plantio direto reduz em cerca de 75% as perdas de solo e em 20% as perdas de água, em relação às áreas onde há revolvimento.

O sistema plantio direto foi implantado no Cerrado por volta de 1980, tendo um desenvolvimento lento, devido à resistência dos produtores em adotar novos sistemas de manejo em suas áreas. Entretanto, a partir de 1990, ocorreu uma grande expansão da área sob sistema plantio direto, tanto na região sul como na região do Cerrado (LOPES et al., 2004).

Para a região de Cerrado, um fator de dificuldade adicional na implantação do sistema plantio direto, originou-se em decorrência da falta de alternativas de plantas de cobertura que suportassem os meses de baixa disponibilidade de água que ocorrem na entressafra. Além das limitações por condições edafoclimáticas do Cerrado na entressafra ou 2º safra (outono-inverno), há uma dificuldade de manter quantidades elevadas de massa seca sobre o solo, deixando-o desprotegido. Isso ocorre devido às restrições na produção de massa seca somada a uma decomposição acelerada dos resíduos vegetais.

Nas regiões de clima tropical, as condições climáticas favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica do solo, fazendo com que haja menor acúmulo de carbono em relação às regiões de clima temperado (COSTA et al., 2015), como no Paraná, tornando necessário o uso de culturas com alto potencial produtivo de massa seca. Porém, a escolha de espécies que propiciem adequada cobertura de solo tem sido um grande problema, considerando as variações de clima e solo de cada região (ANDRIOLI, 2004). Podemos destacar atualmente a utilização das *Urochloas spp* como opção de cobertura ou parte integrada do sistema, pois além da produção de massa seca e as melhorias de alguns atributos do solo, outra característica que vem ganhando destaque entre essas forrageiras nos sistemas de produção de grãos em regiões de inverno seco, é sua persistência prolongada sobre o solo (CRUSCIOL e SORATTO, 2009).

Para que sistemas conservacionistas, como o sistema plantio direto, sejam conduzidos de modo eficiente, é indispensável que a cultura escolhida produza entre 4000 a 6000 kg ha⁻¹ (ALVARENGA, 2001, NUNES et al., 2006) de massa seca ao ano, considerando como critério de segurança para manutenção do sistema.

1.2 Rotação de culturas

A rotação de culturas, como prática de manejo habitual na produção agrícola sob sistema plantio direto, tem adquirido ao longo do tempo, acentuado reconhecimento técnico-científico. Mesmo se tratando de uma prática muito antiga presente na agricultura, ainda é pouco utilizada no Brasil, sendo que ainda há muito a ser analisado a respeito desta prática, visando contribuir para a eficiência dos processos de produção.

Essa prática de manejo consiste em alternar a cada ano e/ou safra as espécies a serem cultivadas em uma mesma área agrícola (FRANCHINI et al., 2011; BOGIANI, 2015). De acordo com Vidal et al. (2014), a rotação de culturas teve sua origem a partir de observações realizadas por agricultores, que constataram que com o monocultivo em uma única área, a produtividade era acentuadamente reduzida a cada ano.

A rotação de culturas apresenta inúmeras características benéficas aos ambientes de cultivo agrícola. Dentre eles, recebem destaque a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, o auxílio no controle de plantas daninhas, doenças e pragas, a elevação do teor de matéria orgânica do solo, a viabilização da inserção do sistema plantio direto nas áreas de cultivo, a manutenção da umidade do solo, a otimização da utilização dos fertilizantes e nutrientes, o aumento em até 65% da produção de safras seguintes com a presença de adubos verdes compondo a rotação de culturas quando comparados a sistemas de monocultivo, além de contribuir para o aumento da produção diversificada de alimentos e produtos agrícolas, (RODRIGUES FILHO et al., 1996; LOURENTE et al., 2010; FRANCHINI et al., 2011; BOGIANI, 2015).

A compactação tem sido elencada como causa predominante da degradação das propriedades do solo. Seus efeitos agem aumentando a densidade e a resistência mecânica, além de provocar acentuadas reduções na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica. Essas alterações restringem o desenvolvimento e o crescimento do sistema radicular das espécies em geral, e reduzem a disponibilidade de água e oxigênio no solo, ocasionando a diminuição da produtividade das culturas (BRAIDA, et al. 2010).

Silveira Neto et al. (2006), analisando os efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo, observaram que a rotação de culturas influencia na densidade, exaltando os benefícios desta prática para os ambientes agrícolas em relação às características físicas presentes no solo.

Stone e Guimarães (2005) relatam que a melhoria dos atributos físicos do solo geralmente ocorre devido ao maior aporte de matéria orgânica ao solo quando se realiza a rotação de culturas, uma vez que esta exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo.

Em relação à qualidade química do solo, a utilização de sistemas de rotação de culturas em sistema plantio direto proporciona inúmeros benefícios, incluindo a elevação do teor de matéria orgânica. O incremento de matéria orgânica na solo influencia diretamente a produtividade das culturas, devido ao fato de se relacionar com o fornecimento e disponibilidade de nutrientes para as culturas e elevação da disponibilidade de nutrientes. Além de elevar a capacidade de troca de cátions (CTC) e de certa maneira complexar alumínio e outros componentes tóxicos às culturas (FRANCHINI et al., 2007; BODDEY et al., 2010).

A ciclagem de nutrientes é considerada um dos maiores benefícios proporcionados pela rotação de culturas e, quando se realiza o planejamento adequado das espécies vegetais, é possível atingir resultados satisfatórios. Nesse sentido, a escolha de espécies que possuam sistemas radiculares capazes de atingir diferentes profundidades possibilita o aproveitamento de nutrientes contidos em diferentes camadas no perfil do solo (FONSECA et al., 2007; OLIBONE, 2008).

Franchini et al. (2011) acrescentam que o aumento da eficiência de extração dos nutrientes é fundamental para a racionalização da utilização de fertilizantes, o que resulta em benefícios econômicos e ambientais. Já Borges (2010), elenca que a qualidade do solo deve ser observada em um sentido mais amplo, considerando-a em conjunto as características físicas, químicas e biológicas do solo, sendo esta última de suma importância para o manejo eficiente das áreas agrícolas.

As características biológicas do solo são um reflexo da atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização potencial de nutrientes. De maneira geral, os microrganismos e suas comunidades são considerados chaves para a melhoria da qualidade dos solos, pelo fato de possuírem elevado envolvimento com a dinâmica da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e nos processos de decomposição e biorremediação de xenobióticos (DORAN e PARKIN, 1994; BORGES, 2010).

De acordo com Cunha et al. (2011), o quociente metabólico, reflexo da respiração e atividade dos microrganismos presentes no solo, é variável em função das alterações decorrentes do preparo do solo, especialmente nas camadas superficiais do solo, e em sistemas sob semeadura direta e rotação de culturas.

Martinez Salgado et al. (2010) referem-se aos sistemas de cultivo e ao solo como meios que podem ser avaliados através de indicadores, onde a qualidade é mensurada sob distintos pontos de vista, como o ecológico, o econômico ou mesmo o

social, e levam em consideração certas propriedades ou funções, especificamente em relação ao solo, de maneira que se reflita em mudanças na área ou mesmo no sistema de cultivo como um todo.

1.2. Matéria orgânica do solo

O solo é um recurso natural distinto, que apresenta atributos que lhe permite sustentar desde microrganismos até mesmo organismos superiores, ressaltando-se os vegetais. No solo se observa um produto antes ausente no material que a originou: a chamada matéria orgânica (RAIJ, 2011).

A matéria orgânica é um dos componentes fundamentais do solo, também intitulada a fração orgânica do solo ou húmus (GUIMARAES et al., 2013). Por não ser originária diretamente das rochas, a matéria orgânica é oriunda de processos fotossintéticos, realizados por vegetais clorofilados, que realizam a transformação de gás carbônico, oxigênio, hidrogênio e nutrientes minerais em compostos orgânicos. O crescente e gradativo desenvolvimento dos vegetais, bem como de outros organismos e microrganismos durante os processos de transformação de rochas em solo, ou mesmo nos processos de recuperação de áreas degradadas, permite o acúmulo progressivo de matéria orgânica ao solo (RAIJ, 2011; BRADY e WEIL, 2013).

A matéria orgânica também atua na qualidade dos solos, influência direto com as propriedades químicas e físicas da própria matéria orgânica que, por consequência, influenciam nesses mesmos atributos no solo, destacando-se a elevada área superficial específica e as grandes quantidades de cargas superficiais (BRAIDA et al., 2010).

A matéria orgânica constitui um elemento essencial ao potencial produtivo dos solos (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010; CECAGNO, 2015) e, por estar estreitamente vinculada a inúmeras funções essenciais e propriedades e processos do solo, é amplamente utilizada como fonte de estudo para avaliação da qualidade do solo (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010).

O teor de matéria orgânica é variável de acordo com cada tipo de solo, e em função do manejo aplicado no sistema de produção, com valores de 1 g kg^{-1} em solos de desertos até superiores a 50% em regiões com predomínio de Organossolos (BRUN, 2008). A importância da matéria orgânica é consideravelmente maior em solos tropicais

e subtropicais, devido às particularidades dessas regiões, como o fornecimento de nutrientes às culturas, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, a estabilidade estrutural do solo, o fluxo de água, a aeração e a atividade biológica (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Dentre as características relevantes da matéria orgânica, recebe destaque o seu fornecimento primordial de carbono (C), sendo o solo o maior depósito de carbono, superando entre três e quatro vezes a quantidade contida na atmosfera (SOMBROEK et al., 1993; BATJES, 1996).

Devido à sua elevada presença no ambiente, juntamente com seus componentes, em destaque o carbono, a matéria orgânica se torna o principal meio de aquisição de energia e nutrientes para a atividade microbiana, através da respiração. A quantidade e qualidade de matéria orgânica, promove a permanência e multiplicação de microrganismos benéficos ao solo (LOURENTE et al., 2010; MAIA e PARRON, 2015).

O teor de matéria orgânica presente no solo, bem como a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados a ele, juntamente com a utilização de práticas de manejo adequadas, influenciam e propiciam incrementos na concentração e na atividade microbiota do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; VENZKE FILHO et al., 2008).

Barber (1984) afirma que a matéria orgânica é um compartimento que varia muito em composição, sendo que uma parte está sempre em constante fluxo e é utilizada como fonte de energia por microrganismos. Estes, por sua vez liberam carbono para a atmosfera como dióxido de carbono, que são repostos por plantas e animais ao sistema, de forma contínua e cíclica.

1.3 Carbono da matéria orgânica e sua dinâmica

O carbono, assim como todos os nutrientes, passa por um extenso ciclo antes de compor a matéria orgânica do solo. O carbono é o elemento base, no qual são constituídas todas as moléculas orgânicas. Um único átomo de carbono pode realizar quatro ligações químicas ao mesmo tempo com outros elementos, ou mesmo com outros carbonos, e desta maneira podem ser formadas inúmeras configurações com várias possibilidades de moléculas químicas simples ou complexas (ADUAN et al., 2004).

O ciclo do carbono se inicia através do gás carbônico (CO_2) contido na atmosfera, em uma concentração de aproximadamente 0,03%. Concentrações maiores podem ser encontradas dissolvidas nos mares, oceanos, rios e lagos.

A fotossíntese realizada pelas plantas é a responsável pela retirada do carbono da atmosfera e pela incorporação deste aos mais diversos componentes dos vegetais. As plantas também utilizam o carbonato e bicarbonatos dissolvidos na água em seus processos fotossintéticos, e sendo assim esse elemento é utilizado impreterivelmente na síntese de compostos orgânicos, que, por sua vez, fazem parte do suprimento dos seres vivos (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Semelhantemente ao que ocorre com as plantas, as bactérias que realizam quimiossíntese fabricam suas substâncias orgânicas a partir do CO_2 , sendo que os compostos formados em maior abundância são os açúcares e carboidratos. Analogamente, as plantas também são capazes de produzir proteínas, lipídeos e ceras em geral.

O carbono sintetizado nas plantas pode retornar à atmosfera pela respiração das plantas, prosseguir via cadeia alimentar ou ser depositado ao solo pela decomposição de resíduos vegetais, de maneira similar ao que ocorre com os animais. O carbono pode também retornar ao ambiente por meio da combustão de combustíveis fósseis, como gasolina, óleo diesel e gás natural, ou mesmo pela queima de resíduos vegetais (MACHADO et al., 2012).

De acordo com Silva e Mendonça (2007), os teores de carbono orgânico do solo estão ligados à sua interação com a biosfera. Através dos inúmeros produtos da fotossíntese, uma elevada quantidade do carbono sintetizado é incorporada ao solo. Taiz e Zeiger (2013) ressaltam que a fotossíntese realizada pelos seres superiores é de extrema importância para o equilíbrio de carbono no planeta e, também, para a sobrevivência e multiplicação dos microrganismos heterotróficos presentes no solo.

O ciclo do carbono no solo pode ser dividido em três fases. A primeira fase é a de organização do CO_2 atmosférico, realizada, principalmente, pelos vegetais fotossintetizantes, também denominada de fase anabólica. Na segunda fase, ocorre a liberação dos produtos fotossintetizados e sua acumulação e estabilização no solo. Na terceira, ocorre a mineralização destes produtos, bem como a transferência do CO_2 à atmosfera (CERRI et al., 1992).

Grande parte da segunda e da terceira fase acontece no solo, dando origem ao ciclo interno do carbono, merecendo destaque a atividade da comunidade microbiológica presente na área, devido ao fato de que ela atua na realização destas fases, além de equilibrarem a entrada e saída de carbono através da respiração edáfica (CERRI et al.,1992; MACHADO, 2005).

Machado (2005) faz referência à decomposição como sendo uma correlação existente entre lixiviação, catabolismo e fragmentação. O processo físico de lixiviação, se inicia após a deposição de resíduos vegetais solubilizados pela ação da água. Já o catabolismo é um processo envolvendo inúmeras reações enzimáticas que produzem energia, transformando os complexos componentes orgânicos em simples. A fragmentação se dá pela redução de partículas em pequenos detritos, expondo, assim, uma grande área de superfície para colonização e ação microbiana.

Esses processos, fases e atividades bioquímicas apresentam constantes alterações, principalmente quando associados aos sistemas agrícolas, em consequência do impróprio uso e manejo do solo, reduzindo consideravelmente o teor de matéria orgânica. Tais alterações ocorrem também em virtude do tipo de resíduo adicionado ao solo, da seleção de cultivares, da fertilização da área de cultivo, dos procedimentos de colheita e da decomposição do material vegetal (SILVA e RESCK, 1997; MACHADO, 2005).

Segundo Machado (2005), o carbono da matéria orgânica viva é dividido em carbono nos microrganismos, representados por fungos e bactérias, e nos macrorganismos, representados por minhocas, ácaros e térmitas terrestres.

O carbono presente na matéria orgânica morta, por sua vez, é classificado em função da matéria macrorgânica, isto é, restos de vegetação inseridos de maneira recente ao solo e no húmus. Cerca de 80-90% do carbono da matéria orgânica morta é composto por substâncias não húmicas, substâncias essas de até 30% do carbono, como por exemplo, ácido cítrico, ftálico e malônico, que são ácidos orgânicos de baixo peso molecular, bem como substâncias húmicas, como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005).

De acordo com Resende (2011), a matéria orgânica é essencialmente importante em muitas regiões e solos de áreas agricultáveis, sendo um componente fundamental para incrementar o potencial produtivo dos solos. Cabe ressaltar que dentre os aspectos que afetam o acúmulo e dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais, se

destacam a temperatura e a umidade elevada, que aceleram os processos e garantem elevadas taxas de produção de carbono, associados a altas produções de massa seca.

O uso de sistemas conservacionistas em regiões tropicais vem garantindo acúmulo significativo de matéria orgânica nos solos, uma vez que o além de sequestrar C atmosférico por proporcionarem maior agregação das partículas do solo, reduzem a oxidação da matéria orgânica do solo (CASTRO FILHO et al., 2002; COSTA, et al. 2008) aumentando ainda a sua estabilização devido a formação de complexos organominerais e a oclusão de partículas lábeis nos agregados (BAYER et al., 2006b).

Para tal afirmação se considera a relação entre a vegetação nativa/natural na maioria das vezes, o sistema mais estável, desse modo sendo utilizado como padrão referencial, quando da transformação deste sistema em áreas agrícolas com cultivos intensos (CARVALHO et al., 2010),

Diversos modelos matemáticos descrevem a dinâmica da matéria orgânica no solo, como os de Van Veen e Paulo (1981), Janssen (1984) e Parton et al. (1987), que levam em consideração vários fatores, como a interferência na dinâmica da matéria orgânica no solo. No entanto, todos estes modelos foram descritos para condições de solos pouco intemperizados e de clima temperado, o que não é o caso da maioria das regiões agrícolas (PARFITT et al., 1997), principalmente no Brasil, onde grande parte dos solos são altamente intemperizados e sob clima quente e úmido (BAYER et al., 2000). Além disso, a interação da matéria orgânica do solo com compostos de Fe e Al amplamente presentes nestes solos muda seu comportamento, o que enfatiza a necessidade de novas pesquisas aplicadas a ambientes tropicais com solos intemperizados.

Henin e Dupuis (1945), através de um modelo exponencial puderam avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solos intemperizados. Trata-se de um modelo com um compartimento simples, o qual é afetado pela perda de carbono orgânico do solo por erosão e oxidação microbiana descrito pelo coeficiente K_2 e pela quantidade do carbono orgânico adicionada pelas culturas e incorporado à matéria orgânica do solo, descrito pelo coeficiente AK_1 (BAYER et al., 2000). Este modelo é utilizado para simular os potenciais de armazenamento de C nos solos de acordo com as mudanças nas práticas de cultivo, sendo expresso pela equação:

$$\frac{dC}{dt} = -K_2C + K_1A$$

Onde:

dC = quantidade de carbono;

dt = tempo;

K₁ = coeficiente da fração de carbono adicionado efetivamente retido no solo na forma de matéria orgânica;

A = carbono fotossintetizado adicionado ao solo na forma de resíduos exsudados radiculares e raízes;

K₂ = coeficiente da fração do carbono na matéria orgânica do solo perdido pela decomposição microbiana, erosão e lixiviação;

C = carbono do solo.

Sucintamente, a equação faz referência à quantidade atual de carbono, representado pela letra C; a letra A é uma representação da quantidade anual de carbono que se adiciona ao solo por meio de resíduos, exsudados radiculares e raízes.

O coeficiente K₁ é definido como a taxa de conversão do carbono presente nos resíduos depositados em matéria orgânica, podendo ser calculado pelo carbono adicionado por meio dos resíduos em relação ao estoque original/inicial de carbono no solo (MIELNICZUK et al., 2003). Tal método de determinação do coeficiente é adotado por diversos autores; no entanto, grande parte dos trabalhos referem-se a uma baixa diversidade de culturas nos sistemas e tempo superior ao do presente experimento, como obtido por Vieira (2007) na determinação do coeficiente K₁, com cultivo e tratamento de dados em período de 19 anos. Já o coeficiente K₂ é a taxa de matéria orgânica perdida anualmente por erosão e decomposição microbiana (DALAL e MAYER, 1986).

Os coeficientes K₁ e K₂ são afetados diretamente pelas condições da região, como temperatura, tipo de solo, umidade, manejo adotado, tempo de manejo, entre outras. É comum que em regiões tropicais o coeficiente K₂ apresente valores mais elevados (0,10 ano⁻¹) que em regiões de clima temperado, já que é variável dependendo do clima (BAYER et al., 2000 a). O coeficiente K₁ pode apresentar valores até 0,23 ano⁻¹ (BOLINDER et al., 1999).

Estes coeficientes podem ser calculados pelo uso de técnicas isotópicas a partir da relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (CERRI, 1986; GREGORICH et al., 1995). Mas de acordo com Bayer et al. (2006a) em experimentos de longa duração é possível estimar os coeficientes utilizando valores de carbono aportado pela parte aérea dos resíduos e de carbono no início do experimento.

Embora vários autores descrevam modelos matemáticos que remetem à dinâmica da matéria orgânica no solo, aquele descrito por Henin e Dupuis (1945) se trata de um modelo simplificado, onde os coeficientes desenvolvidos possibilitam avaliar sistemas de produção a longo prazo. Desde a sua formulação, fazem parte das pesquisas referentes a avaliação de matéria orgânica nos mais distintos tipos de solo. Apesar de serem encontradas algumas dificuldades nas mensurações, os dados contribuem grandemente para os avanços nas pesquisas e, conseqüentemente, resultam em intervenções positivas nos mais variados sistemas de produção agrícola.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local, clima e solo

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados, com coordenadas geográficas de latitude 22° 14'S, longitude de 54° 49'W e altitude de 458 metros. O local em que foi desenvolvido o experimento encontra-se sob sistema plantio direto desde o ano de 2009, quando foi realizada aplicação de calcário (4 Mg ha⁻¹) e gesso (2 Mg ha⁻¹), conforme necessidades apontadas na ocasião por análise de solo (Anexo A).

O clima, de acordo com a classificação de Koppen é Am (tropical de monções). A precipitação pluviométrica total anual da região é de 1.400 a 1.500 mm e a temperatura média anual é de 22 °C (Figuras 1, 2 e 3). O solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho distroférrico (SANTOS et al., 2013) apresentando-se com textura argilosa (220 g kg⁻¹ de areia, 249 g kg⁻¹ de silte e 531 g kg⁻¹ de argila).

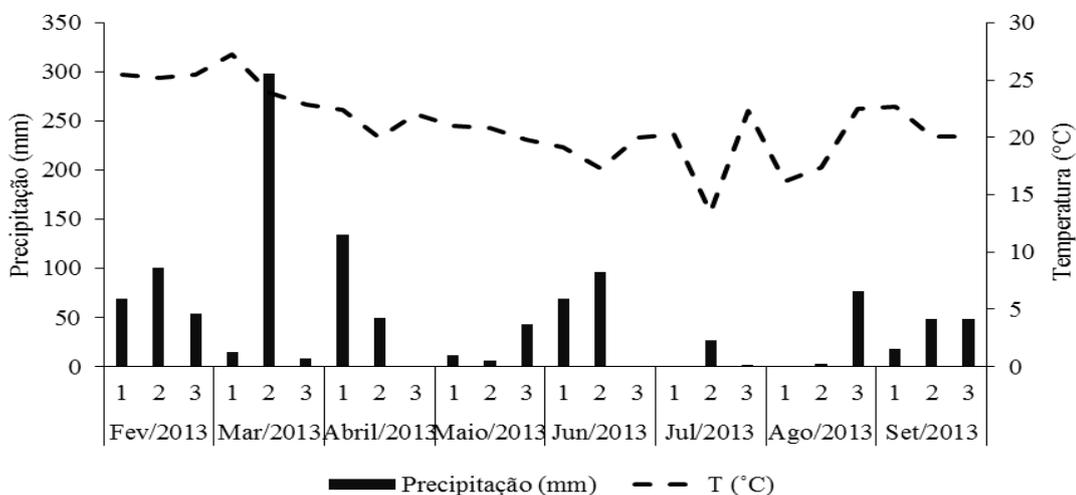


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura no período de fevereiro a setembro de 2013. Fonte: Embrapa, 2017.

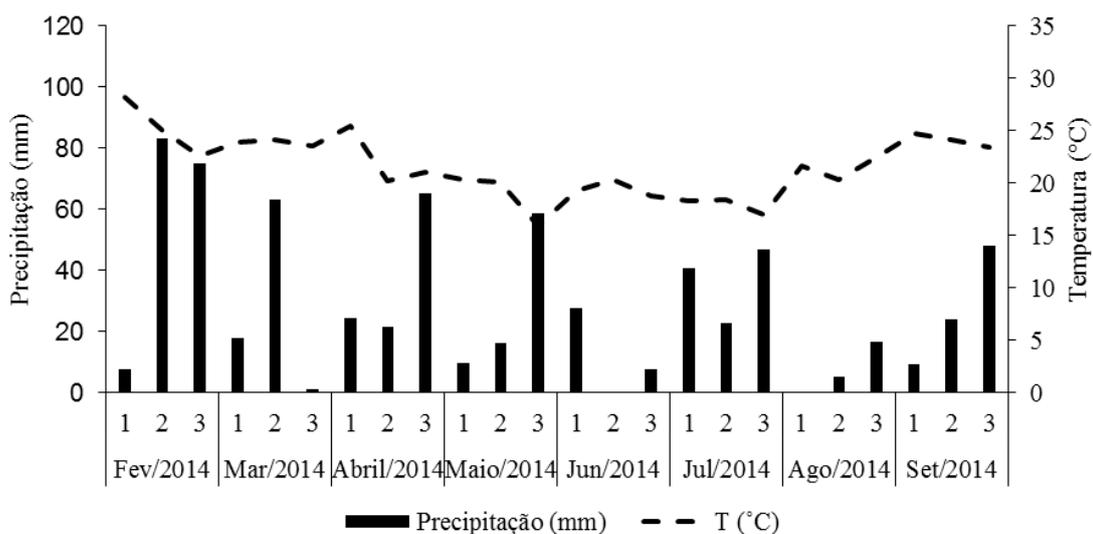


Figura 2. Precipitação pluvial e temperatura no período de fevereiro a setembro de 2014. Fonte: Embrapa, 2017.

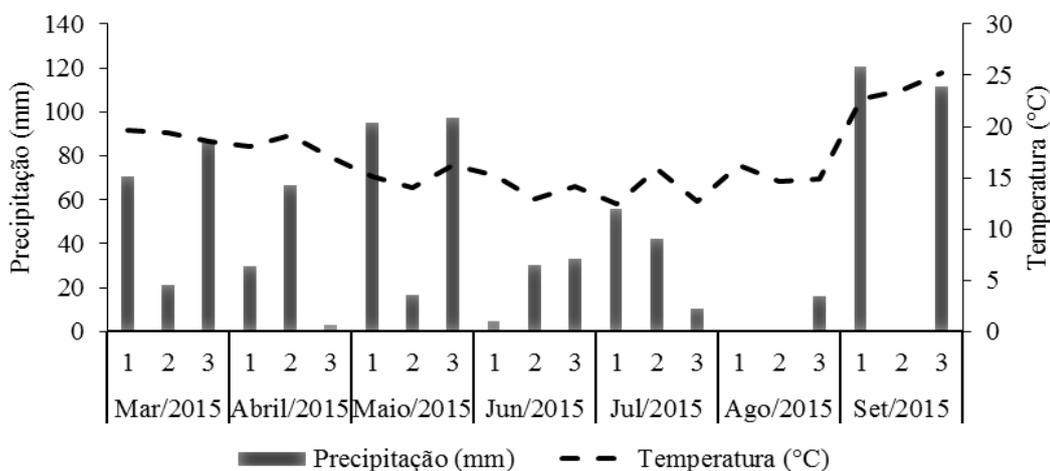


Figura 3. Precipitação pluvial e temperatura no período de fevereiro a setembro de 2015. Fonte: Embrapa, 2017.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com dez tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos estão apresentados na Tabela 1. Cada unidade experimental possuía 35 m de comprimento por 15 m de largura, totalizando uma área de 525 m². Na Figura 4 encontra-se a fotografia aérea do experimento no ano de 2014.

Tabela 1. Disposição dos tratamentos nas safras agrícolas 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Dourados, MS, 2017.

Código de referência (Tratamento)	Cultivo de outono-inverno 2013	Cultivo de verão 2013/14	Cultivo de outono-inverno 2014	Cultivo de verão 2014/15	Cultivo de outono-inverno 2015	Cultivo de verão 2015/16
T1	Pousio	Soja	Pousio	Soja	Pousio	Soja
T2	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
T3	Milho + braquiária	Soja	Milho + braquiária	Soja	Milho + braquiária	Soja
T4	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
T5	Braquiária	Soja	Feijão	Milho	Braquiária + ervilhaca	Soja
T6	Trigo	Soja	Nabo	Milho	Trigo	Soja
T7	Pousio	Milho	Pousio	Milho	Pousio	Milho
T8	Nabo	Milho	Cartámo	Soja	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Milho
T9	Ervilhaca	Soja	Aveia	Soja	Nabo+ervilhaca+aveia	Soja
T10	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Milho	Nabo+ervilhaca+aveia	Milho	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Milho



Figura 4. Imagem aérea do experimento no outono- inverno de 2014. UFGD, Dourados, MS, 2017.

2.2 Implantação dos tratamentos

Os tratamentos se constituíram na utilização de combinações com monocultura, sucessão e rotação de culturas.

Em todos os tratamentos as culturas principais de verão foram soja e/ou milho, sendo que no período de outono-inverno, foram implantadas as demais culturas ou pousio (vegetação espontânea), para simular condições em que alguns produtores optam pela não utilização da área neste período.

A semeadura da soja verão foi feita utilizando-se a BMX Potência RR[®], semeada no mês de outubro de cada ano, utilizando-se semeadora-adubadora, modelo pneumático Jumil com sete linhas, espaçadas entre si a 0,45 m; na densidade de semeadura 16 plantas m⁻¹. A adubação de semeadura utilizada foi 300 kg ha⁻¹ do formulado 07-20-20 + 0,3% de B + 0,3% de Zn, as sementes foram inoculadas com o produto comercial Masterfix[®]. O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato, na dose de 3 L ha⁻¹. O controle de percevejos foi feito com o inseticida Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose de 200 mL ha⁻¹.

A semeadura do milho verão foi realizada em outubro de cada ano, foi utilizado o híbrido simples precoce DKB 390 VT PRO, utilizando-se semeadora-adubadora modelo pneumático marca Jumil com sete linhas de milho, espaçadas entre si a 0,9 m. A adubação de semeadura utilizada foi 300 kg ha⁻¹ do formulado 07-20-20 + 0,3% de B + 0,3% de Zn e a adubação de cobertura foi realizada quando as plantas de milho estavam no estágio V6 (RITCHIE et al., 1993) com 60 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fonte nitrogenada a ureia.

As culturas utilizadas na safra de verão (soja e milho) foram conduzidas até o final do ciclo, e na maturação efetuou-se a colheita dos grãos.

A semeadura da crotalária (*C. ochroleuca* e *C. spectabilis*), nabo forrageiro (IPR 116), trigo (BRS 210), aveia, ervilhaca, cártamo, *Urochloa ruziziensis* (Braquiária), feijão carioca e o cultivo combinado (nabo+ervilhaca+aveia), ocorreu no mês de março de cada ano (2013, 2014 e 2015), quando presentes no sistema.

A adubação utilizada nas culturas de outono inverno foi de 250 kg ha⁻¹ do formulado 07-20-20 + 0,3 B + 0,3 Zn. Para a semeadura das culturas de outono-inverno, foi utilizada uma semeadora-adubadora com oito linhas, espaçadas entre si em 0,40 m. A densidade de semeadura utilizada para o trigo e a aveia foi de 60 sementes m⁻¹; para feijão, 12 sementes m⁻¹ e para as demais culturas, 25 sementes m⁻¹. Para o combinado nabo+ervilhaca+aveia foram utilizados 80 kg ha⁻¹ da mistura (15% nabo, 15% ervilhaca e 70% aveia). As culturas de outono-inverno com produção de grãos (feijão, aveia, nabo, cártamo, trigo, milho e milho+braquiária) foram cultivadas até a maturidade

fisiológica; as outras culturas (braquiária, ervilhaca, *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis*) e o tratamento com nabo+ervilhaca+aveia foram manejadas com a utilização do rolo faca no período de floração. A braquiária, antes de ser manejada foi dessecada em ambos sistemas nos quais foi cultivada.

2.3 Variáveis analisadas

As amostragens foram realizadas nos anos de 2013, 2014 e 2015 nas áreas referidas com cada tratamento de cada parcela.

2.3.1 Massa seca

Para determinação da massa seca, os resíduos remanescentes sobre o solo foram coletadas após a colheita de cada uma das culturas de outono-inverno de verão a cada ano. Coletou-se três repetições para cada tratamento com a utilização de um quadrado com área de 0,25 m² (Anexo B - I, II e III), o material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60 °C, até que atingisse peso constante, sendo o valor expresso em kg ha⁻¹. A massa seca foi, então, moída e submetida à análise química para determinação dos teores de N, seguindo os procedimentos descritos por Bataglia et al. (1983). O C da massa seca foi determinado através de um analisador TOC cube da Elementar. Com os dados, foi calculada a relação C/N da massa seca depositada sobre o solo.

2.3.2 Estoque de carbono

Após a condução das culturas de outono-inverno de cada ano foram realizadas as coletas de solo (Anexo B - IV) em quatro camadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) em trincheiras, feitas em número de três repetições para cada parcela de cada tratamento, sendo homogeneizadas, para quantificação de carbono orgânico total. As amostras de solo coletadas foram maceradas em almofariz e peneiradas (malha de 0,250 mm), sendo posteriormente secas em estufa a 65 °C, durante 48 horas.

O carbono orgânico total foi determinado por combustão via seca, através de um analisador de combustão a seco, sendo as pesagens das amostras (200 a 300 mg) de solo em recipientes de quartzo, em balança analítica, com precisão de pesagem de 0,00001 g.

Esta metodologia se baseia na oxidação do carbono orgânico em alta temperatura (950 °C) por período de aproximadamente 7 minutos, do qual através da queima da matéria orgânica libera gases (CO₂, N₂, SO₂), sendo estes adsorvidos separadamente por uma coluna detectora específica (SLEUTEL et al., 2007).

Nas mesmas trincheiras, foram coletadas três amostras indeformadas com anéis do tipo Kopeck com dimensões de 6 cm de diâmetro e 5 cm de altura (volume 141,37 cm³) em cada tratamento, para determinação da densidade do solo.

Com a densidade e o teor de carbono orgânico total, calculou-se o estoque de carbono do solo pelo método da camada (BAYER et al., 2000b), de acordo com a expressão $Est_c = (Teor \times Ds \times E)/10$. Onde: Est_c é o estoque de carbono em Mg ha⁻¹; Teor = teor de carbono orgânico total em g kg⁻¹; Ds = a densidade do solo no horizonte estudado em kg dm⁻³; E= a espessura da camada amostrada em cm. Os valores de estoque de carbono foram calculados para 2013, 2014 e 2015, nas camadas avaliadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) do solo.

Para comparação com os sistemas implantados foram utilizados os valores de carbono no solo do ano de 2009 (T2009), período de implantação do sistema plantio direto na área estudada, os valores médios de estoque de carbono para as mesmas camadas eram de 10,72, 10,47, 11,03 e 22,23 Mg ha⁻¹. Até o ano de 2009, esta área era cultivada em sistema convencional com preparo a partir do revolvimento do solo.

Adjacente à área do experimento encontra-se uma área de vegetação nativa (VN) – Floresta Estacional Semidecidual, com influência antrópica (extração seletiva de árvores de interesse comercial) Mato Grosso do Sul (1990), que também serviu de informativo, pois foi determinado seus estoques de carbono concomitante aos anos avaliados.

2.3.3 Taxa de acúmulo de carbono orgânico (TAC)

Foi determinada conforme metodologia descrita por Mafra et al. (2014), realizada com base na variação do estoque anual de C em cada tratamento, a partir do início do experimento, por meio da expressão: $TAC = (C_{tf} - C_{t0})/(\Delta t)$. Onde: TAC é a taxa de acúmulo de carbono orgânico em $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$; C_{tf} = o estoque de C orgânico dos tratamentos no ano final em $Mg\ ha^{-1}$; C_{t0} = o estoque de carbono inicial no período de implantação do experimento (T2009) em $Mg\ ha^{-1}$; Δt = o tempo médio das avaliações do início ao final do experimento (cinco anos).

Para a determinação do índice C_{tf} , foi utilizada a média do estoque de carbono dos anos de 2013, 2014 e 2015. O Δt foi calculado de mesma forma (média dos anos após a implantação, 2013, 2014 e 2015).

2.3.4 Dinâmica da matéria orgânica

Para descrever a dinâmica da matéria orgânica, foi utilizado o modelo do tipo unicompartmental proposto por Hénin e Dupuis (1945), que trata-se de um modelo que leva em consideração a obtenção de taxas médias de mineralização específicas para o local, condições climáticas, tipo de solo e histórico (ANDRIULO et al., 1999). O modelo descreve um balanço médio de entradas e saídas de materiais orgânicos no período de um ano, não levando em conta a cinética intra-anual. O balanço é dado pela Equação 1:

$$\frac{dC}{dt} = -K_2 C + K_1 A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde dC/dt expressa a taxa de variação no tempo do conteúdo de carbono orgânico ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), A é a quantidade de carbono adicionado ao solo ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) pelos resíduos vegetais, C é o estoque de carbono orgânico do solo ($Mg\ ha^{-1}$), K_2 é o coeficiente de perda anual do carbono orgânico por oxidação microbiana, erosão e lixiviação e K_1 é a fração de carbono que é adicionada anualmente e que passará a constituir a matéria orgânica do solo (coeficiente isohúmico). As adições anuais de carbono (parâmetro A) foram determinadas a partir da coleta e quantificação do carbono nos resíduos vegetais após os cultivos (safra e entressafra) nos anos de estudo, sendo,

sobre este valor, acrescido o percentual de 30% equivalente a contribuição do sistema radicular na adição de C (BOLINDER et al., 1999; LOVATO et al., 2004).

A determinação do coeficiente K_1 geralmente é realizada com base em resultados obtidos a partir de técnicas isotópicas (BALESDENT e BALABANE, 1996), entretanto, Nicoloso (2009) afirma que os valores de K_1 ainda podem ser calculados em experimentos de longa duração, por meio do coeficiente angular da regressão linear, que relaciona as quantidades de carbono adicionadas anualmente com a taxa de variação anual no estoque de carbono orgânico da camada considerada. No entanto, os experimentos realizados e relatados que determinam o coeficiente isohúmico por regressão linear correlacionando adições e estoques de carbono são feitos apenas em sistemas com apenas um tipo de cultura, o que, neste experimento, fica impossibilitado devido ao número de sistemas combinados de culturas, confirmado pelo baixo valor de R^2 obtido por meio da linearização dos dados amostrais (Anexo C).

O coeficiente K_1 , foi então, determinado considerando um levantamento de base de dados em experimentos sob condições semelhantes e com mesmas espécies. Para as gramíneas, valor médio de $K_1 = 0,25 \text{ ano}^{-1}$ de acordo com Cerri (1986); Paul et al. (1996); Sá et al. (2001); Allmaras et al. (2004); Forest et al. (2008); Nicosolo (2009); Patriche et al. (2012), e para leguminosas e as outras plantas de cobertura, o $K_1 = 0,18 \text{ ano}^{-1}$ de acordo com Food and Agriculture Organization of United Nations (1991); Linères e Djakovitch (1993); Bayer et al. (2000a); Haverkort e Mackerron (2000). Após a determinação dos valores de coeficiente K_1 , da taxa anual de adição de carbono (A) e do estoque de carbono orgânico total, no perfil na camada de 0-40 cm de profundidade, calculou-se o coeficiente de perda de matéria orgânica do solo (K_2) em cada tratamento, por meio da Equação 1. Dalal e Mayer (1986) consideram nesta condição para determinação do K_2 que dC/dt se iguale a zero, onde o $K_1A = K_2C_e$ para que a variação do estoque inicial de carbono orgânico total do solo seja no mínimo zero e o sistema não sofra declínio de carbono, ou seja, $dC/dt = \text{zero}$.

Portanto, o valor do coeficiente K_2 é expresso pela Equação 2 (PILLON et al., 2004):

$$K_2 = \frac{K_1 A}{C_e} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: C_e é o estoque de carbono orgânico estável no solo ($Mg\ ha^{-1}$). Considera-se o carbono orgânico estável aquele presente em um sistema sem ação antrópica e em equilíbrio, onde a entrada de carbono e a saída são iguais, como é o caso das vegetações nativas (matas) ou sistema de igual manejo. Para os tratamentos que continham combinações de famílias distintas, o coeficiente K_1 foi calculado considerando-se a proporção de ocorrência de gramíneas e leguminosas na composição do tratamento.

2.4 Análise estatística

Os dados de todas as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional Sisvar. Para as avaliações que envolvem carbono, considerou-se o estoque de carbono no período de implantação do experimento, em 2009 (T2009). Para analisar os coeficientes K_1 e K_2 e a dinâmica da matéria orgânica do solo, os valores foram comparados numericamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Massa seca das culturas de outono-inverno

Avaliando a precipitação pluvial apresentada nas Figuras 1, 2 e 3 nos anos de 2013, 2014 e 2015, verifica-se um regime pluvial médio entre os meses de março e julho de 850, 500 e 550 mm, respectivamente, que representam quantidades satisfatórias para o desenvolvimento das diferentes culturas de outono-inverno em áreas agrícolas.

Os tratamentos apresentaram diferenças ($p \leq 0,05$) para produção de massa seca das culturas de outono-inverno em 2013, 2014 e 2015 (Tabela 2). No ano de 2013 os maiores valores de massa seca foram obtidos o cultivo de trigo, *Urochloa ruziziensis* (braquiária) e milho no outono-inverno, com 7186,60; 7031,49 e 6802,66 kg ha⁻¹, respectivamente, diferindo dos demais tratamentos.

Tabela 2. Valores médios de massa seca sobre o solo no período de outono – inverno em 2013, 2014 e 2015. Dourados, MS, 2017.

Tratamento	Sistema	Massa seca outono- inverno (kg ha ⁻¹)	Sistema	Massa seca outono- inverno (kg ha ⁻¹)	Sistema	Massa seca outono- inverno (kg ha ⁻¹)
		2013		2014		2015
T1	Sv. Pousio	1891,58e	Sv. Pousio	1990,53f	Sv. Pousio	1752,32g
T2	Sv. Milho	5417,91b	Sv. Milho	6728,48a	Sv. Milho	7154,32a
T3	Sv. Milho + braquiária	5266,42b	Sv. Milho + braquiária	6924,60a	Sv. Milho + braquiária	6661,18b
T4	Mv. Milho	6802,66 ^a	Mv. Milho	6862,48a	Mv. Milho	7493,32a
T5	Mv. Braquiária	7031,49a	Sv. Feijão	4477,44e	Mv. Braquiária +ervilhaca	5438,96d
T6	Mv. Trigo	7186,60a	Sv. Nabo	5817,58c	Mv. Trigo	4566,61f
T7	Mv. Pousio	4771,13c	Mv. Pousio	5202,23d	Mv. Pousio	5671,12d
T8	Sv. Nabo	4591,62c	Mv. Cártamo	6332,69b	Sv. C. <i>Spectabilis</i>	4642,81e
T9	Sv. Ervilhaca	535,21f	Sv. Aveia	6366,38b	Sv. Nabo+ ervilhaca+ aveia	6064,73c
T10	Sv. C. <i>Ochroleuca</i>	3879,94d	Mv. Nabo+ ervilhaca+aveia	6380,26b	Mv. C. <i>Spectabilis</i>	6887,98b
CV (%)		9,92	-	3,47	-	5,10

Mv: Milho cultivado na safra verão; Sv: soja cultivada na safra verão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Beck et al. (2009) obtiveram valores de massa seca de trigo 6261 kg ha^{-1} , inferior ao obtido em 2013 e superior ao observado em 2015 no presente experimento. O trigo é considerado uma ótima alternativa para o produtor pois além da elevada massa seca tem sua produção de grãos comercializados.

Pariz et al. (2010) apresentam valores de massa seca de braquiária em torno de 6500 kg ha^{-1} e 6200 kg ha^{-1} , próximos aos obtidos em 2013 ($7031,49 \text{ kg ha}^{-1}$) neste experimento. A braquiária pode ser introduzida na área e após a colheita da cultura granífera para alimentação de animais na propriedade ou apenas para fornecimento de massa seca para manutenção do sistema plantio direto (PARIZ et al., 2010; PARIZ et al., 2011a; PARIZ et al., 2011b).

Os elevados valores de massa seca depositados sobre o solo pela braquiária ocorrem principalmente pelo seu sistema radicular vigoroso e profundo, e por apresentar boa tolerância ao déficit hídrico e adaptabilidade a diferentes regiões (BARDUCCI et al., 2009). Elevadas quantidades de massa seca depositadas sobre o solo, como em sistemas integrados com braquiária, promovem proteção contra erosão, além de, pelos processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais, proporcionar a liberação de quantidades consideráveis de nutrientes ao sistema produtivo, principalmente N e K, beneficiando as culturas cultivadas em sucessão na área (COSTA et al., 2015).

Segundo Macedo (2009), as plantas forrageiras, principalmente as dos gêneros *Urochloa* e *Panicum*, apresentam capacidade de reestruturar o solo, por meio de seu sistema radicular, propiciando condições favoráveis à infiltração e retenção de água e as trocas gasosas.

Almeida e Camara (2011) obtiveram valores de massa seca em cultivo de milho solteiro de 8000 kg ha^{-1} , valor superior ao obtido neste experimento ($6802,66 \text{ kg ha}^{-1}$). Porém, mesmo em condições de alta produtividade de massa seca em cultivos sucessivos de milho, a produtividade de grãos pode ter decréscimos de até 36% (DERPSCH, 1986), uma vez que cultivos sucessivos da mesma espécie aliados à adoção da semeadura direta sem rotação de culturas pode promover a ocorrência de pragas e doenças, em função da elevada capacidade dos patógenos de sobreviverem no solo e em restos de cultura, resultando no rápido acúmulo de inóculo (CIVIDANES, 2001; HEINRICHS et al., 2001; PONGRATZ et al., 2006).

Tal situação pode ser verificada quando se observa os valores de produtividade de milho em 2013/2014 que são de 8200 kg ha⁻¹ quando cultivado sobre massa seca de crotalária e 7000 kg ha⁻¹ quando cultivado sobre massa seca de milho do outono inverno (PILETTI, 2016), um decréscimo de 17% na produtividade neste sistema de sucessão.

Os tratamentos de milho solteiro cultivado sobre soja e milho consorciado com braquiária não diferiram entre si, com 5417,91 e 5266,42 kg ha⁻¹, respectivamente. Ensinas (2015) obteve valor de massa seca de milho solteiro em torno de 4271 kg ha⁻¹ no ano de 2013 na região de Maracaju – MS, valor inferior ao obtido neste experimento (5417,91 kg ha⁻¹). O presente resultado pode estar associado à disponibilidade de N oriundo dos restos culturais da soja cultivada no verão, promovendo maiores produtividades de grãos (AMADO et al., 2015) e, conseqüentemente, quantidade de massa seca mais elevada. Alves (2013) obteve valores de massa seca de milho consorciado com braquiária na região de Dourados – MS, em torno de 5000 a 6000 kg ha⁻¹, valores semelhantes ao obtido no experimento no ano de 2013 (5266,42 kg ha⁻¹).

O consórcio de milho com braquiária, além de fornecer grande quantidade de massa seca, que é de fundamental importância para o sistema plantio direto, apresenta elevada relação C/N, retardando a velocidade de decomposição da palha, protegendo mais o solo contra ação erosiva da chuva e radiação solar, além de reduzir a infestação de plantas daninhas na área (TIMOSSI et al., 2007; SILVA et al., 2008; BRAMBILLA et al., 2009). Os tratamentos de pousio sobre área de verão com milho e o tratamento com nabo forrageiro não diferiram entre si com 4771,13 e 4591,62 kg ha⁻¹.

O elevado valor de massa seca obtida na área de pousio (2013), cujo cultivo anterior fora milho no verão, é justificado pela presença de restos da cultura antecessora, que pela elevada relação C/N permanecem por um longo período depositados sobre o solo, além da contribuição da massa seca por parte das plantas daninhas espontâneas na área.

Cabe destacar que áreas com pousio são áreas não cultivadas que possuem resíduos do cultivo de verão e crescimento espontâneo de plantas daninhas, que quando dessecadas servem de cobertura de solo, sendo extremamente variável em quantidade e qualidade, e não recomendado pelo elevado custo com herbicidas (LEAL et al. 2005; CASTRO et al., 2011). Balbinot Junior et al. (2004) obtiveram valores de massa seca em área cultivada com nabo forrageiro de 5000 kg ha⁻¹ após 90 dias de cultivos, valores

bem semelhantes aos obtidos no mesmo tratamento neste experimento (4591,62 kg ha⁻¹). Mesmo não diferindo do pousio-milho verão, o menor valor de massa seca obtida no tratamento com nabo é justificado pela baixa quantidade de massa seca da cultura antecessora (Soja) de baixa relação C/N o que resulta em rápida taxa de degradação.

Balbinot Junior et al. (2004) afirmam que a massa seca com baixa relação C/N, como por exemplo a do nabo forrageiro, tende a se decompor rapidamente, deixando o solo desprotegido, o que não é desejável no sistema plantio direto. Por outro lado uma vantagem da utilização de cobertura com nabo forrageiro é o efeito alelopático sobre plantas daninhas, impossibilitando que se estabeleçam na área (RIZZARDI e SILVA, 2006).

Silva et al. (2007) obtiveram valores de massa seca de ervilhaca em torno de 3900 kg ha⁻¹, valor superior ao obtido nesse experimento com mesmo tratamento (535,21 kg ha⁻¹), sendo inclusive o menor valor entre os tratamentos testados em 2013. Estes valores estão relacionados à baixa quantidade de massa associada à baixa relação C/N, produzida por algumas culturas como é o caso da ervilhaca.

No ano de 2014 (Tabela 2) os maiores valores de massa seca no período de outono-inverno foram obtidos como cultivos de milho consorciado com braquiária, milho sobre milho e milho sobre soja no verão com 6924,60; 6862,48 e 6728,48 kg ha⁻¹, respectivamente. O tratamento com milho cultivado sobre milho também proporcionou maior valor em 2013.

As coberturas com aveia, cártamo e o combinado nabo+ervilhaca+aveia, cultivados no outono inverno não diferiram entre si com valores médios de massa seca de 6336,38, 6332,38 e 6380,26 kg ha⁻¹, respectivamente. Não se observam relatos com a mistura dessas três plantas de cobertura, no entanto Giacomini et al. (2003) obtiveram valores de massa seca de aveia+nabo em torno de 5000 kg ha⁻¹, valor inferior ao obtido no experimento (6380,26 kg ha⁻¹) que foi maior possivelmente devido à presença de ervilhaca cultivada no sistema. Já Bortolini et al. (2000), em experimento avaliando produção de massa seca de ervilhaca+aveia, obtiveram valores em torno de 4000 kg ha⁻¹, inferior ao obtido neste experimento.

O consórcio de plantas com baixa e alta relação C/N apresenta benefícios quando utilizadas como cobertura de solo, pois ao mesmo tempo em que culturas com baixa relação C/N como a ervilhaca e nabo mineralizam rapidamente disponibilizando nutrientes, as espécies com alta relação, como a aveia, por exemplo, acumulam massa

seca com melhor qualidade sobre o solo protegendo-o e garantindo os benefícios do acúmulo de palhada ao sistema plantio direto.

Ainda, sistemas que possuem ervilhaca na sua composição aumentam o teor de N no solo pela capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico, influenciando na produtividade das culturas posteriores (GIACOMINI et al., 2003), além de aumentarem as taxas de mineralização.

Ranells e Wagger (1997); Heinrichs et al. (2001) descrevem algumas vantagens da utilização de plantas de cobertura em sistema consorciado: alto rendimento de massa seca e elevado acúmulo de nutrientes; utilização pela espécie gramínea, de parte do N disponível do solo, estimulando assim a fixação de nitrogênio pela leguminosa; maior exploração de nutrientes e água do solo pela presença de sistemas radiculares diversificados, que exploram diferentes camadas de solo; melhor proteção do solo devido à relação C/N média, comparativamente as mesmas culturas em sistema isolado.

Na Tabela 3 observa-se que a relação C/N do combinado nabo+ervilhaca+aveia, como citada neste paragrafo, apresenta valores intermediários quando comparados aos mesmos tratamentos de maneira isolada. Dentre as espécies componentes do consórcio, a aveia se destaca por sua boa tolerância a acidez, crescimento vigoroso, além da rapidez na formação de cobertura; também por ser rústica e com baixa exigência em fertilidade, sendo indicada como boa opção para cobertura do solo na região de Mato Grosso do Sul (SILVA et al., 2006).

Avaliando a produção de massa seca da aveia, Fontaneli et al. (2012), observaram um acúmulo de 6000 kg ha⁻¹, resultado semelhante ao obtido neste estudo (6336,38 kg ha⁻¹). A produção foi superior à obtida por Demétrio (2012), de 5166 kg ha⁻¹, pois não foi submetida à cultura a cortes periódicos. Uma das vantagens da utilização da aveia como planta de cobertura é devido a sua utilização para pastejo de animais concomitantemente à produção de grãos como fonte de renda na propriedade. Franchini (2014) avaliando produção de massa seca de cártamo na mesma área agrícola no ano de 2012, obteve média inferior (2841 kg ha⁻¹) ao obtido neste estudo no ano de 2014 (6332,38 kg ha⁻¹).

Apesar da alta quantidade de massa seca produzida pela cultura do cártamo este não é indicado como cobertura de solo quando o cultivo posterior for a cultura do milho. Spiassi et al. (2011), em experimentos utilizando diferentes palhadas sobre o

crescimento inicial do milho, verificaram que a palhada de cártamo apresenta efeito inibitório sobre o crescimento radicular das plântulas de milho, o que é contraposto por Piletti (2016) que não observou diferença nas produtividades de milho cultivado sobre palhada de cártamo na mesma área do experimento. Este efeito pode ter sido anulado ou minimizado de maneira a não expressar quedas em produtividade uma vez que as condições climáticas da região possibilitaram uma rápida mineralização do material depositado sobre o solo.

Tabela 3. Relação C/N da massa seca das culturas utilizadas. Dourados, MS, 2017.

Culturas	Relação C/N
Aveia	32,0
Aveia+ervilhaca+nabo	29,0
Braquiária	43,0
Cártamo	30,0
Crotalária	13,0
Ervilhaca	13,5
Feijão	23,0
Milho	54,0
Milho+braquiária	65,0
Nabo	22,0
Pousio sobre milho verão	33,0
Pousio sobre soja verão	25,0
Soja	28,0
Trigo	29,0

A cobertura com feijão proporcionou a obtenção de 4477,44 kg ha⁻¹ de massa seca. Regiões que apresentam elevadas temperaturas e pluviosidade constante, pode limitar o uso de plantas de cobertura com baixa relação C/N, como a de feijão, pois dificulta o acúmulo de massa seca sobre a área por sua rápida decomposição.

O menor valor de massa seca no ano de 2014 foi obtido na área de pousio (1990,53 kg ha⁻¹) anteriormente cultivada com soja. Franchini (2014) observou na mesma área agrícola no ano de 2012 o valor médio de 2675 kg ha⁻¹ no pousio, diferindo dos obtidos por Barbosa et al. (2011). Leal et al. 2005 afirmam que áreas em pousio, podem apresentar variabilidade na quantidade de material depositado sobre a área, justificando a discrepância entre os valores citados acima.

No ano de 2015 (Tabela 2) os tratamentos com milho cultivado no outono-inverno em sucessão a soja e ao milho no verão apresentaram maiores valores médios de massa seca (7154,32 e 7493,32 kg ha⁻¹) quando comparados com demais tratamentos e não diferindo entre si. Porém, o cultivo na modalidade sucessiva não é vantajoso para o produtor, como ocorre para os referidos tratamentos desde 2013. Cividanés (2001) afirma que sistemas que caracterizam uma monocultura apresentam-se mais suscetíveis ao ataque mais severo de pragas e diminuição significativa de população natural de predadores, trazendo prejuízo para os produtores, o que torna limitante o uso do milho como cobertura no período de outono-inverno após uma safra de verão da mesma cultura.

O tratamento com a consórcio de milho com braquiária apresentou elevada quantidade de massa seca (6661,18 kg ha⁻¹), valor superior ao obtido em estudo por Pariz et al. (2011a) de 5516 kg ha⁻¹ utilizando a mesma gramínea em Selviria – MS. O sistema consorciado com braquiária tem apresentado boa aceitação pelos produtores, ainda que a produtividade de grãos seja menor (PARIZ et al., 2011a), ela possibilita o acúmulo de grande quantidade de massa seca, trazendo melhorias químicas, físicas e biológicas para o solo.

A massa seca (Tabela 2) proporcionada pelos sistemas com *Crotalaria spectabilis* diferiram entre si, a área com milho cultivado no verão acumulou sobre o solo maior quantidade de resíduos (6887,98 kg ha⁻¹), atingindo, inclusive, valor superior ao obtido por Ferreira et al. (2010).

A crotalária é considerada uma boa opção por sua alta produção de massa seca com relação C/N elevada, propiciando, assim cobertura do solo por tempo prolongado, melhorando gradativamente as atributos químicos, físicos e biológicos do solo, contribuindo ainda para fixação biológica de nitrogênio e aumentando a produtividade de culturas dependentes de nitrogênio cultivadas em sucessão (SOUZA, 2012). A crotalária pode também ser cultivada com propósito de controle de nematóides, como afirmam Costa et al. (2014).

O combinado nabo+ervilhaca+aveia produziu quantidade intermediária de massa seca (6064,73 kg ha⁻¹), diferindo dos demais tratamentos com pousio de soja verão, trigo, crotalária cultivada sobre soja verão, braquiária consorciada com ervilhaca e pousio de milho verão, com 1752,32; 4566,61; 4642,81; 5438,96 e 5671,12 kg ha⁻¹, respectivamente. Esse tipo de sistema que integra diferentes espécies vegetais com

diferentes relações C/N na área de cultivo beneficia o sistema produtivo, como citado anteriormente.

A massa seca proporcionada pelo consórcio de braquiária com ervilhaca não diferiu do tratamento com pousio em sucessão ao cultivo de milho verão, com 5438,96 e 5671,12 kg ha⁻¹, respectivamente. Como citado anteriormente por Ranells e Wagger (1997); Heinrichs et al. (2001); Giacomini et al. (2003), há vantagens em se integrar plantas com baixa e alta relação C/N na área, como a ervilhaca e a braquiária, respectivamente. No entanto, ainda não existem relatos da utilização desta combinação. Em sistemas produtivos de grãos, espécies forrageiras de clima tropical, especialmente gramíneas, apresentam marcada estacionalidade de produção no período do inverno, com grande redução na produção de massa seca nos meses de maio a setembro conforme as condições climáticas da região.

Alguns autores consideram que para o sistema plantio direto seja conduzido de modo eficiente, é indispensável que as culturas utilizadas como cobertura produzam no mínimo 4000 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Ainda, como critério de segurança para regiões tropicais como no Cerrado adota-se a quantidade média de 6000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (ALVARENGA, 2001, NUNES et al., 2006). É importante salientar que estes valores mencionados, apenas estão relacionados a quantidade e não qualidade, que por sua vez não deve ser o único fator a ser levado em consideração na eficiência da condução do sistema plantio direto, uma vez que algumas culturas mesmo com altas quantidades de massa seca produzidas, quando de baixa relação C/N mineralizam rapidamente, deixando o solo descoberto. A análise isolada é útil para tal situação, mas devido às variações climáticas (Figuras 1, 2 e 3) e particularidades de cada ano agrícola, a análise conjunta ao longo do tempo representa melhor as condições de um sistema consolidado de plantio direto.

Analisando os valores da Tabela 4 para cada conjunto de sistema produtivo em três anos consecutivos de cultivo (2013, 2014 e 2015) com diferentes coberturas de outono-inverno, observam-se diferenças significativas para produção anual média de massa seca das culturas. O maior valor médio anual de massa seca no período de 2013 a 2015 foi obtido tratamento composto por cultivo de milho em sucessão a milho.

Mesmo obtendo valores superiores aos requisitos mínimos para condução eficiente do sistema plantio direto, este tipo de combinação adotada por tempo prolongado impacta negativamente na produtividade, devido à exploração constante da

mesma camada de solo e a ataques severos de pragas e doenças sobre a cultura, como relatam (DERPSCH et al., 1986; HEINRICHS et al., 2001; PONGRATZ et al., 2006).

Tabela 4. Valores médios de massa seca sobre o solo das culturas de inverno no período de três anos (2013, 2014 e 2015) em diferentes sistemas produtivos. Dourados, MS, 2017.

Tratamento	Massa seca (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	2013/2014/2015	
T1	Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i	1878,14 f
T2	Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi	6433,72 b
T3	Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i/SvM.+Braq.i	6284,72 b
T4	Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi	7052,81 a
T5	Mv.Braq.i/Sv.Fei.i/Mv.Braq.+Erv.i	5649,30 c
T6	Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i	5523,50 c
T7	Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv.Pou.i	5214,85 d
T8	Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i	5189,04 d
T9	Sv.Erv.i/Sv.Avei.i/Sv.Nab.+Erv.+Ave.i	4322,11 e
T10	Mv.Ocro.i/Mv.Nab.+Erv.+Ave.i/Mv.Spec.i	5716,06 c
CV(%)		3,29

Mv: Milho cultivado na safra verão; Sv: soja cultivada na safra verão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O tratamento de soja verão e milho cultivado no inverno não diferiu do tratamento com soja no verão e milho consorciado com braquiária no inverno como cobertura, com 6433,72 e 6284,72 kg ha⁻¹ ano⁻¹, quantidade superiores as de segurança para condução eficiente de sistema plantio direto (ALVARENGA, 2001, NUNES et al., 2006). A sucessão soja/milho ainda é bastante utilizada no Brasil, pois grande parte dos produtores busca rentabilidade com a venda de grãos, e não ponderam práticas que dão um enfoque maior para melhoria dos solos em que cultivam.

A rotação e a diversificação de culturas ganharam maior aceitação quando o sistema de sucessão apresentou alguns entraves (PONGRATZ et al., 2006), principalmente relacionados à fitossanidade da lavoura e à qualidade do solo. Desta forma sistemas de sucessão soja/milho não são considerados interessantes para o produtor, mesmo que este obtenha valor médio de massa seca superior aos requeridos para manutenção em sistema plantio direto.

O consócio milho e braquiária vêm sendo utilizado de maneira abrangente em grande parte das áreas produtivas no período de outono - inverno, pois as

forrageiras além de acumularem alta quantidade de massa seca sobre o solo exploram camadas mais profundas que as culturas anuais comumente utilizadas (soja e milho) não exploram e promovem assim a ciclagem de nutrientes, depositando-os em camadas subsuperficiais, dos quais poderão ser utilizados por culturas cultivadas em subsequência.

A inclusão de forrageiras, tanto em consócio como solteira em sistemas produtivos com cultivo de soja no verão, é importante, pois elas aportam quantidades significativas de massa seca suficiente para viabilizar o sistema plantio direto (PARIZ et al., 2010; PARIZ et al., 2011a; PARIZ et al., 2011b).

Coberturas que aportam elevadas quantidades de massa no período de outono-inverno são importantes para sistemas que acumulem baixas quantidades de massa seca no verão, como o caso da soja que, devido a baixa relação C/N, tem rápida decomposição, deixando o solo desprotegido e causando declínio do sistema produtivo. A massa seca dos tratamentos T10, T5 e T6, com 5716,06; 5649,30 e 5523,50 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, não diferiram entre si.

Os três tratamentos mencionados obtiveram média anual superior de massa seca recomendada para manutenção de sistema plantio direto. O tratamento T10, que utiliza crotalária no período de outono – inverno apresenta vantagem, pois se trata de uma cultura com grande capacidade produtiva de massa seca em solos com pouca ou nenhuma adubação, e quando adubada alcança grandes produções de massa seca (COSTA et al., 2006), o que a torna vantajoso seu cultivo. Outro benefício bastante importante que torna a crotalária uma cultura importante é sua capacidade de diminuir significativamente a presença de nematóides no solo (COSTA et al., 2014), problema bastante comum na região Centro Oeste.

Neste mesmo sistema a mistura de plantas como o nabo, ervilhaca e aveia no mesmo tratamento fornecem massa seca para o solo com qualidade diversificada, aumentando a taxa de mineralização para ervilhaca e nabo e acumulando massa seca sobre a área com a palhada da aveia. Sistemas integrados com exploração diversificada da camada de solo possibilita maior aproveitamento de água e nutrientes num todo, garantindo assim benefícios futuros, como a melhoria da qualidade do solo (agregação) (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), por exemplo, é uma excelente antecessora para o milho, pois, além de seus efeitos ambientais benéficos

(descompactação, reciclagem de nutrientes, formação de bioporos, etc.), os grãos também podem ser comercializados devido ao seu teor de óleo, que possui boas características para uso como combustível.

A aveia presente neste tratamento garante alta quantidade de massa seca sobre o solo, como observado na Tabela 2. Se trata ainda de uma cultura de fácil implantação e manejo, com rusticidade, rapidez e uniformidade na formação de cobertura (Silva et al., 2006). Pode ainda ser manejada para produção de grãos, tornando-a cultura viável como componente para o sistema plantio direto.

O tratamento T5 também produz valores médios anuais de massa seca suficientes para manutenção do sistema plantio direto com diversificação de culturas no período de outono–inverno e, ainda com rotação de culturas no período de verão (milho/soja/milho). Esse tipo de sistema gera benefícios em longo prazo, como aumento de produtividade das culturas da safra verão, além das melhorais já citadas para o solo (reciclagem de nutrientes, bioporos, descompactação), pela diversificação de espécies.

As forrageiras (*Urochloa* spp.) quando presentes em sistemas produtivos têm como vantagens a alta resistência ao déficit hídrico, aumento da agregação, abertura de bioporos, elevada produção de massa seca e a reduzida decomposição durante a entressafra (BORGHI et al., 2006; PACHECO et al., 2008; PACHECO et al., 2011), conferindo cobertura permanente na área. A utilização de plantas com relação C/N mais baixa, como o feijão e a ervilhaca, neste sistema não interfere na manutenção da massa seca, visto que a elevada quantidade de palhada depositada sobre o solo pelas gramíneas tem tendência de permanecer por período longo sobre a área.

Os mesmos benefícios mencionados anteriormente podem também ser destacados para o tratamento T6, que também atende o requisito de quantidade mínima média anual de massa seca para manter um sistema plantio direto viável, porém é importante ressaltar neste sistema que o cultivo de trigo após milho no verão caracteriza uma sucessão de culturas e não rotação, uma vez que as duas espécies são pertencentes à mesma ordem e família e são cultivadas em sequência.

Este tipo de sistema pode possibilitar um ataque mais severo de pragas e doenças, pois grande parte atacam as mesmas famílias de plantas, migrando de uma safra para outra, aumentando então os danos, o que torna esta combinação não tão interessante para o produtor, pois além de causar decréscimo na produtividade irá gerar maior custo para controle de pragas e doenças (MACEDO, 2009).

Vários autores verificam maiores produtividades de grãos são observadas na sucessão de gramíneas sobre leguminosas. O mesmo não é observado quando se tem gramíneas cultivadas em sequência de gramíneas mesmo que de espécies diferentes (PELÁ, 2002; ANDRIOLI, 2004).

A massa seca dos tratamentos T7 e T8 com 5214,85 e 5189,04 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, não diferiram entre si. O tratamento com milho no verão e área em pousio no inverno mesmo produzindo alta quantidade de massa seca média por ano, não é indicado para integrar sistemas de produção de grãos em plantio direto, posto que não atende um dos princípios do sistema plantio direto: a rotação de culturas. Além do fato de não gerar renda.

A área em pousio no inverno possibilita o desenvolvimento de diversas plantas daninhas, que gera custo ao produtor para seu controle. Estes altos valores de massa seca depositada sobre o solo basicamente são compostos pelos colmos das plantas, depositando sobre a área uma massa desuniforme deixando assim grande parte do solo descoberto. Rizzardi e Silva (2006) afirmam que sistemas com elevada quantidade de massa seca distribuída sobre o solo dispensam controle químico de plantas daninhas, o que não ocorre nesta combinação, pois o solo no período de outono–inverno fica exposto e possibilita o desenvolvimento de plantas daninhas, gerando um custo para controle antes da implantação da nova safra de verão.

Sistemas de sucessão ou monocultura não atendem os princípios de fundamentação do sistema plantio direto, pela não realização da rotação de culturas, embora seja cultivado em área onde não há revolvimento do solo. A não observância do princípio da rotação de culturas compromete, ao longo dos anos, a produtividade e os custos de produção, devido ao aumento de doenças, de pragas, de plantas daninhas específicas e, em alguns casos, menor disponibilidade de alguns nutrientes, como: N, P, K, Mg, entre outros. Plantas com elevada relação C/N, têm decomposição mais lenta e mantêm a massa por período prolongado sobre a área, como afirmam Timossi et al. (2007), o alto valor médio de massa seca obtido neste tratamento (T7) é justificado pela alta relação C/N.

O tratamento T8 produz quantidade média de massa seca anual dentro da faixa considerada adequada para manutenção de sistema plantio direto (5189,04 kg ha⁻¹ ano⁻¹). Os tratamentos T9 e T1 com 4322,11 e 1878,14 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, diferiram entre si para massa seca.

O tratamento T9 apresenta valor próximo do limiar considerado adequado para manutenção do sistema plantio direto, principalmente por ser composto por quantidade maior de espécies com baixa relação C/N (ervilhaca e nabo) que se decompõem rapidamente em condições tropicais como as da região de Mato Grosso do Sul, tornando limitante o uso desta combinação.

O tratamento T1 não atende aos requisitos da fundamentação do sistema plantio direto pela não realização da rotação de culturas e não produzir quantidade mínima requerida de massa seca.

Franchini et al. (2007); Jantalia et al. (2007) afirmam que sistemas que acumulam elevadas quantidades de matéria orgânica no solo, tendem a elevar a CTC do solo ou pelo menos manter estável, garantindo condições químicas mínimas para cultivo. Ainda é importante salientar que só foi realizada a calagem na área do experimento no ano de 2009, no início da implantação do sistema, e que mesmo por período longo sem adição de calcário na área, os valores de saturação por bases apresentam-se relativamente altos (Anexo D), viabilizando, assim o cultivo satisfatório das culturas de verão e outono-inverno, garantindo as altas produtividades de massa seca.

3.2. Carbono no solo

Os estoques de carbono na implantação do sistema plantio direto em 2009 (T2009), e os estoques após a consolidação dos sistemas produtivos, em 2015, apresentam diferenças (Tabela 5). Os teores de carbono do solo em sistemas nativos refletem o equilíbrio das entradas e saídas em determinado regime edafoclimático, mas, segundo Six et al. (2002), esses valores não representam necessariamente o limite superior no estoque de C, mas representam valores de referência e comparação com sistemas produtivos que acumulem carbono.

O carbono em um sistema plantio direto apresenta tendência de diminuição em profundidade, como afirmam Briedis et al. (2012), uma vez que os resíduos são depositados sobre a superfície e não incorporados como ocorre em sistema convencional. É relevante pontuar que os estoques de carbono na Tabela 5 apresentam-se crescente em razão das diferenças nas espessuras das camadas.

Tabela 5. Estoque de carbono orgânico total (Mg ha^{-1}) em diferentes camadas do solo e diferentes sistemas produtivos em 2015. Dourados, MS, 2017.

Tratamento	Camada (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
T2009	10,72c	10,47c	11,03d	22,23h
T1	7,09e	8,11d	14,52d	26,06g
T2	6,74e	8,06d	16,60c	35,91e
T3	12,33b	10,15c	23,56a	46,60b
T4	8,42d	7,82d	15,76c	32,20f
T5	11,82b	13,76 ^a	19,48b	49,50a
T6	11,82b	11,07c	19,78b	34,79e
T7	8,34d	8,26d	14,80d	26,80g
T8	10,49c	10,67c	20,51b	33,87f
T9	11,94b	11,60c	19,23b	39,12d
T10	13,65a	12,46b	21,63a	41,44c
VN	24,40	20,80	38,93	70,90

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. T2009: implantação do sistema plantio direto; T1: Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i; T2:Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi;T3:Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i;T4:Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi;T5:Mv.Braq.i/Sv.Fei.i/Mv.Braq.+Erv.i;T6:Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i;T7:Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv.Pou.i;T8:Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i;T9:Sv.Erv.i/Sv.Avei.i/Sv.Nab.+Erv.+Avei.i;T10:Mv.Ocro.i/Mv.Nab.+Erv.+Avei.i/Mv.Spec.i.;VN:Vegetação Nativa.

Para a camada de 0-5 cm o maior estoque de carbono foi observado no T10, com $13,65 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono orgânico, sistema que mistura plantas de baixa e alta relação C/N, que pode incrementar carbono em superfície.

Conceição et al. (2013) observaram maior estoque de carbono no plantio direto que no plantio convencional na camada de 0-5 cm em Argissolo, após 18 anos de cultivo. O mesmo pode ser observado quando se relaciona os sistemas de plantio direto do experimento com ampla diversidade de culturas (T5, T6, T8, T9 e T10) com sistema plantio convencional (T2009) ou sistemas com baixa diversificação (T1, T2, T4 e T7) na mesma camada.

Rossetti e Centurion (2015) afirmam que um sistema plantio direto com cinco e dez anos de implantação não são eficientes para aumentar o conteúdo de carbono orgânico total na camada superficial do solo, diferindo dos resultados obtidos neste experimento. No presente trabalho, em um período de cinco anos observou-se que, quanto maior a diversificação de culturas em um sistema de produção, maior é a diferença no estoque de carbono comparativamente ao sistema convencional (T2009). Nota-se ainda, que os sistemas de sucessão soja-milho e milho-milho, além da

manutenção da área em pousio, propicia redução no estoque de carbono, a ponto de alguns tratamentos mesmo diferindo do sistema convencional (sistema de cultivo na área até 2009), apresentam valores bem baixos.

A manutenção da área em pousio ou sucessão de culturas não apresentam as premissas do sistema plantio direto, pois não apresentam rotação de culturas, com a diversificação de espécies, conseqüentemente, adicionando menor quantidade de carbono sobre o solo.

Experimentos avaliando a decomposição de diferentes resíduos culturais comprovam que sistemas que possuem plantas com baixa relação C/N apresentam maior velocidade de mineralização, como afirmam Mckenney et al. (1995); Kuo e Sainju, (1998), e depositam quantidades elevadas de carbono na primeira camada de solo (0-5 cm) como observado nos tratamentos T5 (11,82 Mg ha⁻¹), T6 (11,82 Mg ha⁻¹), T8 (10,49 Mg ha⁻¹), T9 (11,94 Mg ha⁻¹) e T10 (13,65 Mg ha⁻¹). Os dois últimos tratamentos além da alta diversidade de culturas apresentam incluídos ao longo dos sistemas, a ervilhaca e o nabo forrageiro, materiais que se decompõem rapidamente e promovem incremento de carbono nas camadas mais superficiais de solo.

O manejo conservacionista, no qual não há revolvimento do solo e rotação de culturas, promove aumento na quantidade de carbono depositada no solo (ALVAREZ 2005; GREGORICH et al., 2005; JANTALIA, 2007), processo mais acentuado em sistemas com maior diversidade de plantas. Rossetti e Centurion (2015) afirmaram que o tempo de cinco a dez anos de implantação do sistema plantio direto em seu estudo ainda não havia sido suficiente para equiparar os valores de carbono com os da mata nativa, mas verificaram incrementos de C de até 48,7% no sistema plantio direto comparativamente ao sistema convencional na camada superficial (0-10 cm).

Os sistemas T1 e T2 por se tratarem de um monocultivo e uma sucessão de culturas, respectivamente, apresentam baixa quantidade de material depositado, pois apresentam baixa diversificação ou um período de pousio que proporcionam a estes sistemas menor quantidade de carbono depositado sobre o solo, posto que o carbono aportado no solo é dependente da quantidade de massa seca depositada e da capacidade que as diferentes culturas têm de explorar as diversas camadas de solo através do seu sistema radicular, armazenando assim carbono em profundidade.

De acordo Macedo (2009), o monocultivo e as práticas culturais inadequadas como a falta de rotação de culturas, têm causado perda de produtividade,

ocorrência severa de pragas e doenças, degradação do solo (maior amplitude térmica e hídrica, desagregação, compactação, entre outras) e dos recursos naturais, além da incorporação de menores quantidades de carbono ao solo.

Hickmann e Costa (2012), avaliando sistemas em que havia cultura de verão intercalada com pousio em sistema sem revolvimento do solo durante 23 anos na região de Minas Gerais, observaram que o estoque de carbono na camada de 0-5 cm de 9,23 Mg ha⁻¹, superou o observado neste experimento, nos tratamentos T1 (7,09 Mg ha⁻¹) e T2 (6,74 Mg ha⁻¹), com sucessão de culturas sem revolvimento do solo com ausência de cultivo no período de outono-inverno. Observa-se ainda, que ao levar-se em conta o tempo em que ambos os experimentos foram analisados, o acúmulo de carbono foi relativamente mais elevado neste estudo, tal fato pode estar associado a uma decomposição mais acelerada dos resíduos em condições de clima tropical.

O sistema T2009 apresentou menor quantidade de carbono incorporado ao solo em comparação aos demais tratamentos. Hickmann e Costa (2012), em sistema com preparo do solo utilizando grade pesada, obtiveram estoque de carbono para camada de 0-5 cm equivalente a 7,14 Mg ha⁻¹, valor inferior ao observado em 2009 (10,72 Mg ha⁻¹).

Em geral, sistemas de plantio convencional com revolvimento do solo decorrente do processo de preparo tendem a estimular as perdas de carbono, tanto por aumentar a oferta de oxigênio para os organismos decompositores, como por fragmentar agregados que protegem o carbono do acesso microbiano (FERREIRA, 2013).

A desagregação do solo em sistemas no qual há revolvimento durante o preparo resulta no aumento da mineralização dos materiais depositados sobre a área, principalmente quando o aporte é composto por resíduos de baixa relação C/N (ANDERSON e FLANAGAN, 1989; CONSENTINO et al., 1998), sendo o processo mais acentuado em regiões de clima tropical.

Na camada de 10-20 cm, Salton et al. (2011) obtiveram valor médio de estoque, ao rotacionar soja com braquiária, que corrobora os obtidos neste experimento. Para podermos entender melhor esse fenômeno, é preciso analisar a planta em duas partes: parte aérea e parte radicular. Enquanto a parte aérea aporta elevada quantidade de massa seca com alta relação C/N (65) sobre o solo e garante um longo período de manutenção de massa seca, característica das gramíneas, a parte radicular provavelmente apresenta valores diversificados de relação C/N por conterem constante

produção e crescimento radicular ocorrente de sua renovação, adicionando carbono em profundidade. Isso propicia aumento de carbono nas camadas subsuperficiais do solo.

Na camada de 20-40 cm o tratamento T5 apresentou maior valor de estoque de carbono ($49,50 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido do tratamento T3 ($46,60 \text{ Mg ha}^{-1}$). Estudos evidenciam que sistemas compostos por braquiária, pela alta deposição de resíduos sobre a superfície e sistema radicular vigoroso e abundante, tem aumentado a quantidade de carbono em profundidade (SILVA et al., 2004; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; SOUZA et al., 2008).

O tratamento T3 composto pelo consócio de milho com braquiária, desde o ano de 2009 apresenta valor de estoque de carbono ($46,60 \text{ Mg ha}^{-1}$) na camada de 20-40 cm, valor próximo ao obtido por Rangel e Silva (2007) na mesma camada e sistema de cultivo ($42,59 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Steiner et al. (2011) em sistemas com rotação de culturas utilizando ervilhaca, aveia, nabo, trigo, mucuna, braquiária e crotalária como cobertura de outono-inverno com cultivos de soja, milho e crotalária intercalados no verão, obtiveram valores de estoque de carbono em torno de 38 Mg ha^{-1} na camada de 20-40 cm, semelhante aos observados no T9 ($39,12 \text{ Mg ha}^{-1}$) e T10 ($41,44 \text{ Mg ha}^{-1}$) que continham na sua composição ervilhaca, nabo, aveia e crotalária como descrito na Tabela 1.

A inclusão de leguminosas em sistemas com rotação de culturas aumenta os estoques de matéria orgânica no solo e promove aumento de produtividade em culturas cultivadas posteriormente (BAYER et al., 2000 a; CORÁ, 2006). Esse aumento é explicado pelo benefício que algumas culturas utilizadas no sistema promovem, como é o caso da ervilhaca, ao fixar nitrogênio da atmosfera; quando decompostas liberam N no solo aumentando as produtividades das culturas subsequentes, como afirmam Giacomini et al. (2003), além deste benefício o N acumulado no solo pode ser utilizado como fonte energética pelos organismo heterotróficos, aumentando assim a taxa de decomposição dos resíduos e contribuindo também no aumento da matéria orgânica.

A escolha das plantas que compõem o sistema no período de outono-inverno é de grande importância, pois devem trazer benefícios perceptíveis para o produtor, para que, assim, possam ser adotadas e conduzidas com sucesso.

Espécies como ervilhaca, nabo forrageiro, aveia preta entre outras, são boas opções para o cultivo entressafra pois protegem o solo, suprimem desenvolvimento de plantas daninhas e melhoram as condições físicas do solo. Essas mesmas espécies estão

presentes nos tratamentos T9 e T10 que apresentam valores elevados de estoque de carbono no solo em todas as camadas avaliadas, além de apresentarem altos valores de massa seca depositada sobre o solo.

Ferreira et al. (2007) afirmam que os sistemas nos quais se incorporam os resíduos vegetais, como é o caso do plantio convencional, possibilitam uma distribuição mais uniforme da matéria orgânica no solo podendo apresentar, inclusive, valores semelhantes aos observados em sistemas conservacionistas, o que não corrobora com os estoques observados nas camadas 10-20 e 20-40 cm e no sistema de preparo convencional em 2009. No presente trabalho observou-se que os sistemas conservacionistas, apresentam-se como acumuladores de carbono em profundidade.

Na figura 5 são apresentados os estoques de carbono total na camada de 0-40 cm no período de seis anos em diferentes sistemas produtivos.

O estoque de carbono presente no solo com vegetação nativa apresenta valor superior aos demais tratamentos avaliados no ano de 2015. Os tratamentos T3 e T5 na somatória de estoque de carbono não diferiram entre si e foram superiores aos demais tratamentos, devido a presença de gramíneas como explicado anteriormente.

Vale afirmar que estes sistemas representam o estoque de carbono em 51,58% e 62,37% do total da vegetação nativa, em período de cultivo de seis anos, o que os torna sistemas altamente viáveis. Vale afirmar que diversos autores consideram a mata um sistema de referência por isto é justificável relacionar sistemas produtivos com a mata nativa, desde que sob condições de solo e atmosféricas semelhantes. Geralmente os sistemas de plantio direto necessitam de períodos superiores a dez anos para que haja aumento significativo dos estoques de carbono, comparado ao preparo convencional. Neste trabalho, nota-se que os sistemas estudados propiciaram aumento nos estoques de C em tempo relativamente menor.

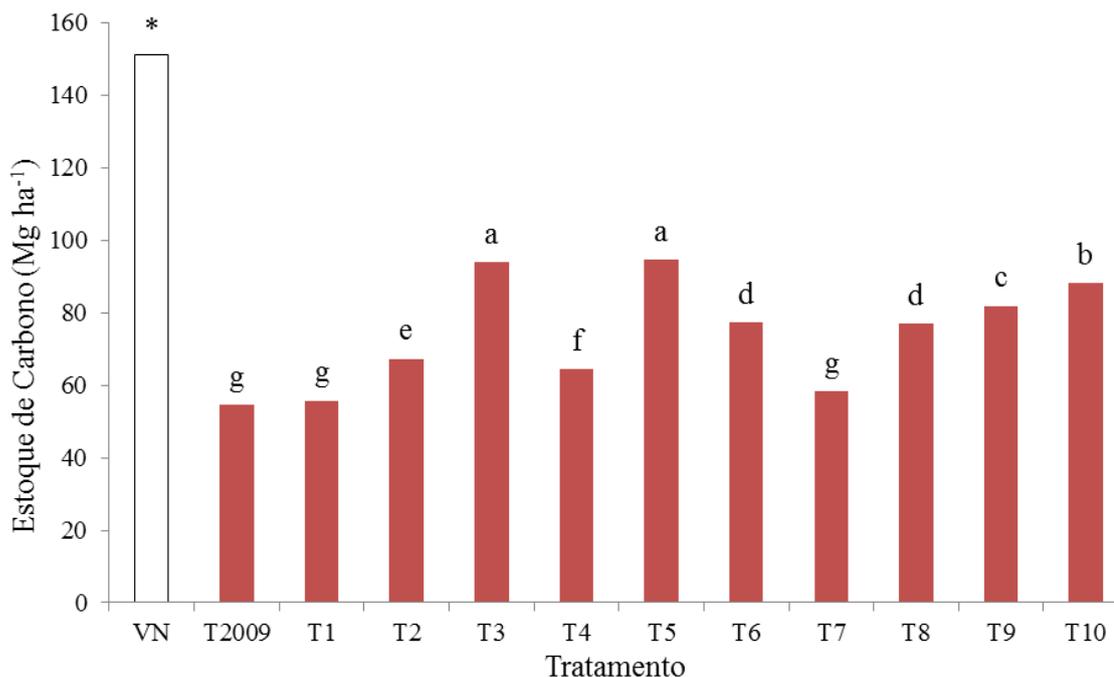


Figura 5. Estoque de carbono orgânico total na camada de 0-40 cm em diferentes sistemas produtivos. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

*Valor de vegetação nativa considerado referência. T2009: Implantação do sistema plantio direto; T1: Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i; T2: Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi; T3: Sv.M.+Braçq.i/Sv.M.+Braçq.i/Sv.M.+Braçq.i; T4: Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi; T5: Mv.Braçq.i/Sv.Fei.i/Mv.Braçq.+Erv.i; T6: Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i; T7: Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv.Pou.i; T8: Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i; T9: Sv.Erv.i/Sv.Avei.i/Sv.Nab.+Erv.+Ave.i; T10: Mv.Ocro.i/Mv.Nab.+Erv.+Ave.i/Mv.Spec.i.

O tratamento T3 além da elevação no estoque de C, possibilita, concomitantemente, a produção de grãos que podem ser comercializados e o acúmulo de massa seca sobre o solo (COSTA et al., 2014), gerando benefícios na estruturação e proteção do solo e na reciclagem de nutrientes.

Salton (2005) e Salton et al. (2011), ao estudarem a relação entre as taxas de acúmulo de carbono e os sistemas de manejo adotados na região do Cerrado, constataram que a presença de forrageiras no sistema está diretamente associada aos elevados estoques de carbono, levando-os a seguinte relação decrescente: sistema de integração lavoura pecuária em sistema plantio direto acumula mais carbono que lavoura em sistema plantio direto, que, por sua vez, acrescenta mais carbono ao estoque do que área mantida em sistema convencional com revolvimento do solo. Isso pode ser evidenciado com os valores de estoques de carbono observados nos tratamentos T3 (93,96 Mg ha⁻¹) e T5 (94,18 Mg ha⁻¹), quando comparados ao sistema convencional (54,45 Mg ha⁻¹) adotado até 2009 na mesma área. GARCIA et al. (2013) afirmam que este sistema de integração entre lavoura e pecuária aumenta a fertilidade do solo, a

capacidade de reciclar nutrientes, além das melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Balesdent e Balabane (1992) afirmam que a taxa com que o carbono adicionado passa a compor a matéria orgânica do solo é maior para o carbono do sistema radicular das plantas em relação àquele adicionado à superfície do solo, o que justifica sistemas que incluem espécies com alto vigor radicular como as braquiárias (T3 e T5), que adicionem maiores estoques em profundidade.

Os resultados obtidos por Carvalho et al. (2009), na região do Cerrado, são indicativos de que se pode aumentar muito a taxa de acúmulo de carbono com a conversão do sistema plantio direto para a integração lavoura pecuária. Sequencialmente aos tratamentos T3 e T5, os sistemas mais diversificados T10 e T9 nessa ordem, também proporcionaram aumento no estoque de C.

Conant et al. (2001) afirmaram que os primeiros 40 anos de implantação do sistema plantio direto promovem aumento progressivo no acúmulo de carbono. Diante disto e dos valores observados, é possível afirmar que, gradualmente, sistemas conservacionistas acumulam carbono e elevam ainda mais os seus estoques na área. Além dos benéficos gerados pela diversificação das culturas, como discutido anteriormente Costa et al. (2015), citam que a prática de plantio direto promove sequestro de carbono no solo e pode diminuir a emissão de gases do efeito estufa, causando menor impacto ambiental. Estes sistemas, quando devidamente implantados e conduzidos, possuem alto potencial de estocar carbono no solo.

Siqueira Neto et al. (2009) estudando o sequestro de carbono em Latossolo sob área desenvolvida com sistema plantio direto com uso de culturas diversificadas e rotação de culturas, observam que os estoques de carbono aumentam com o tempo de implantação, favorecendo assim o acúmulo de C no solo.

Os tratamentos T1 e T7 com estoques de carbono de $55,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $58,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ não se diferiram do sistema T2009 ($54,45 \text{ Mg ha}^{-1}$), ocasião em que era feito o preparo convencional do solo. Estes dois tratamentos compunham o sistema de produção caracterizado como monocultura, com área entressafra de pousio.

A cultura da soja deposita baixa quantidade de massa seca sobre o solo, que com a baixa relação C/N dos resíduos promove rápida decomposição para os baixos valores de estoque de carbono obtidos nesse tratamento.

Na região do Cerrado dois fatores limitantes para o acúmulo de matéria orgânica se destacam: a escassez de chuva no inverno que restringe o uso de plantas de cobertura e as elevadas temperaturas ao longo do ano que possibilitam uma atividade microbiana maior no solo. Este último, associado ao monocultivo de soja no verão, aumenta significativamente a decomposição da massa seca, levando a um menor acúmulo de matéria orgânica do solo, diferentemente do que ocorre na região Sul do país, onde as temperaturas mais amenas retardam a decomposição do material orgânico do solo (NUNES et al., 2011).

O tratamento T7, composto pela monocultura de milho, apresenta valores baixos de estoque de carbono, visto que os resíduos depositados apresentam elevada relação C/N com decomposição lenta e deposição desuniforme da massa seca sobre o solo, causada pelo grande acúmulo de colmos da cultura do milho.

A utilização de áreas em pousio ainda é prática recorrente em boa parte do Brasil, todavia esse tipo de sistema apresenta estoque de carbono até 41% menor (55,78 Mg ha⁻¹) para área de pousio com soja verão e 38% menor (58,20 Mg ha⁻¹) para área de pousio com milho no verão, quando comparados com os sistemas onde houve diversidade de culturas no período de outono inverno como o T5 (94,56 Mg ha⁻¹).

O sistema T2009 composto pelo preparo convencional do solo até o ano de 2009, até a primeira avaliação na área, em 2013, apresenta baixo valor de estoque de carbono, visto que o revolvimento do solo causa destruição dos agregados e potencializa a mineralização do carbono e do nitrogênio presente nos resíduos vegetais da matéria orgânica, principalmente quando estes resíduos apresentam baixa relação C/N. Devido ao revolvimento, os resíduos ficam mais expostos a fatores bióticos (organismos do solo) e abióticos (umidade, luminosidade e temperatura) como afirmam Anderson e Flanagan (1989); Consentino et al. (1998).

De maneira geral, pode-se observar que o estoque de carbono aumenta em sistemas com maior diversidade de culturas, pois promove-se o aporte de carbono no solo em profundidade, pela exploração diversificada dos sistemas radiculares, além da maior deposição de carbono oriundo dos resíduos vegetais, mesma observação feita por Costa et al. (2008).

A Figura 6 esquematiza o estoque de carbono em função do tempo de adoção dos sistemas produtivos da área. Avaliando em função do tempo e partindo de 2009 até 2013 (quatro anos) todos os tratamentos apresentam crescimento linear,

mesmo que pouco acentuado como o T1 e o T7, pois sistemas baseados na sucessão de culturas tendem a acumular menos carbono que sistemas que apresentam diversificação de culturas de maneira integrada no período de outono inverno como nos tratamentos T3, T5, T9 e T10, por exemplo. Embora esta afirmação sobre o crescimento linear no estoque de carbono, não pode ser tomada como de toda verdade, uma vez que no referido estudo não foi avaliado o estoque de carbono em 2010, 2011 e 2012, período em que poderia ter ocorrido flutuação no estoque de carbono dos tratamentos avaliados.

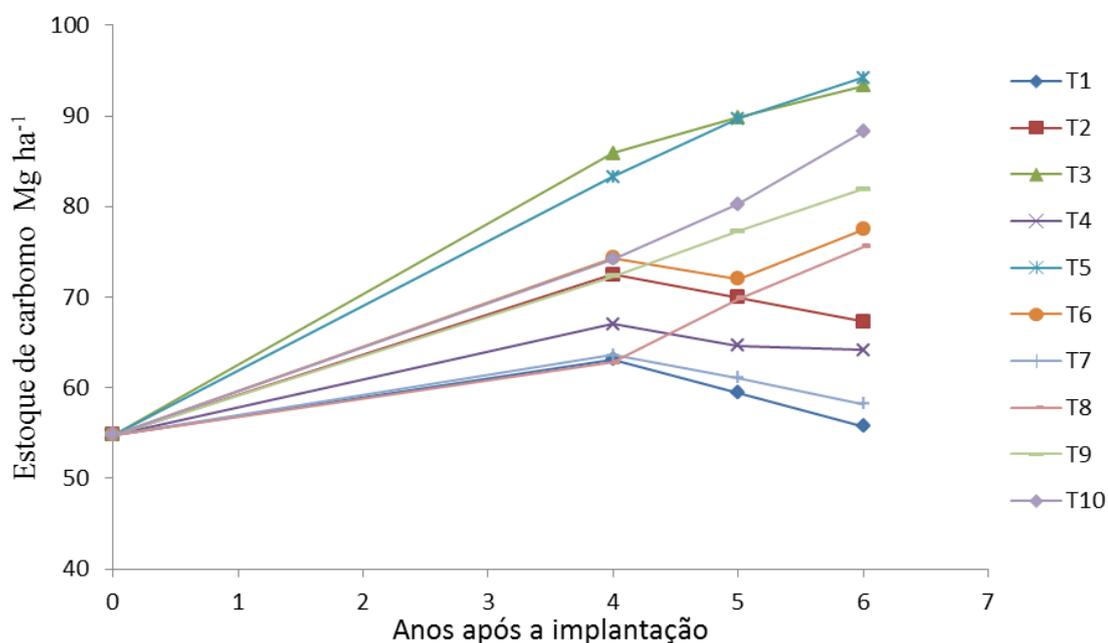


Figura 6. Análise temporal do estoque orgânico de carbono total na camada de 0-40 cm em seis anos sob diferentes sistemas produtivos. Desvio padrão: (T1: 2,98; T2: 5,65; T3: 13,06; T4: 3,92; T5: 12,84; T6: 7,42; T7: 2,92; T8: 6,94; T9: 8,37; T10: 9,89). T1: Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i; T2: Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi.i; T3: Sv.M.+Braç.i/Sv.M.+Braç.i/Sv.M.+Braç.i; T4: Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi; T5: Mv.Braç.i/Sv.Fei.i/Mv.Braç.+Erv.i; T6: Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i; T7: Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv.Pou.i; T8: Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i; T9: Sv.Erv.i/Sv.Avei.i/Sv.Nab.+Erv.+Ave.i; T10: Mv.Ocro.i/Mv.Nab.+Erv.+Ave.i/Mv.Spec.i.

De acordo com Amado et al. (2001), os sistemas com a inclusão de leguminosas e gramíneas promovem efeitos positivos no incremento de matéria orgânica, pois com o aumento da disponibilidade de nitrogênio e outros elementos reciclados ao solo, tem-se um aumento da produtividade das culturas em sucessão, que, por sua vez incrementam também o carbono adicionado pelos resíduos não exportados. Com isso nota-se uma maior adição de material e matéria orgânica além do aumento do sequestro de CO₂ (AMADO et al., 1998; BAYER et al., 2000a). Tal fato pode ser

observado nos tratamentos T5, T8, T9 e T10 (Figura 5) pelo aumento linearizado do estoque de carbono em função do tempo para estes sistemas.

O T3 apresenta comportamento semelhante aos citados, porém integra a cultura leguminosa apenas no período de verão como safra principal; no entanto, é considerado um sistema diferenciado, pela junção de diferentes tipos de atividade (lavoura+pecuária) e pelos benefícios gerados.

Pereira et al. (2010) afirmam que a adoção do sistema plantio direto integrado, com elevada deposição de resíduos vegetais em regiões subtropicais, tem capacidade de recuperar a matéria orgânica perdida com preparo convencional em um período curto de tempo. Tal fato pode ser observado na Figura 5, em que sistemas que integram alta capacidade de adicionar resíduos com exploração diversificada das camadas de solo pela diversidade de culturas, caso dos tratamentos T5, T6, T9 e T10, em seis anos, propiciaram aumento respectivos de 72% ($39,72 \text{ Mg ha}^{-1}$), 41% ($22,61 \text{ Mg ha}^{-1}$), 50% ($27,04 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 61% ($33,83 \text{ Mg ha}^{-1}$) do estoque de carbono em relação à área de preparo convencional até então existente em 2009 ($54,45 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Leite et al. (2010) verificaram, em experimento com rotação de culturas em Latossolo Vermelho Amarelo que é possível obter incrementos de carbono de dois a quatro anos da adoção de sistema plantio direto intercalando culturas leguminosas e gramíneas, semelhantemente aos incrementos obtidos neste experimento após o 4º ano de implantação. Contrariamente, Siqueira Neto et al. (2010); Hickmann e Costa (2012) obtiveram resultados de incremento de carbono em sistemas conservacionistas após, em média, 17 anos em regiões de clima temperado.

A maioria dos sistemas utilizados no experimento era composta por uma grande diversidade de espécies que depositavam sobre a área uma quantidade elevada de massa seca (Tabela 2), mas que podem variar de acordo com as condições climáticas da região como afirmam Carvalho et al. (2010), podendo apresentar mineralização acelerada das plantas com baixa relação C/N e incremento de carbono em tempo inferior ao relatado por diversos autores.

Quando se relaciona a massa seca média anual produzida pelas culturas e o estoque de carbono, Tabela 4 e Figura 5, respectivamente, observa-se que os altos acúmulos de massa seca nem sempre refletem no maior acúmulo de carbono no solo, pois para que o carbono seja fixado no solo, o material vegetal precisa ser decomposto e deve apresentar composição variada com diferente relação C/N, ou seja, períodos de

mineralização distintos e dependentes do clima, refletindo nos diferentes valores observados.

3.3. Taxa média de acúmulo de carbono orgânico

A taxa média de acúmulo de carbono orgânico (TAC) na camada de 0-20 cm foi significativamente influenciada pelos sistemas produtivos (Tabela 6). O maior valor de TAC foi obtido no tratamento T3 com $2,26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Ainda o T5 e T10 apresentaram altos valores em relação aos demais tratamentos com $1,74 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $1,85 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, não diferindo entre si.

Tabela 6. Taxas de acúmulo de carbono orgânico (TAC) por ano, na camada de 0-20 cm, em diferentes sistemas produtivos. Dourados, MS, 2017.

Tratamento	Estoque de carbono (0-20 cm)				TAC
	2009	2013	2014	2015	$\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$
T1	32,22	32,62	31,34	29,92	-0,40f
T2	32,22	34,36	32,90	31,40	-0,07g
T3	32,22	42,83	44,03	46,74	2,26a
T4	32,22	34,24	32,64	31,99	-0,05g
T5	32,22	39,63	41,40	44,67	1,74b
T6	32,22	41,13	39,29	42,66	1,56c
T7	32,22	34,20	32,91	31,40	-0,08g
T8	32,22	31,56	37,20	41,66	0,72e
T9	32,22	34,56	38,79	42,77	1,10d
T10	32,22	38,55	41,94	46,84	1,85b
CV (%)	-	-	-	-	21,56

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. T1:Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i; T2:Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi; T3:Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i; T4:Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi; T5:Mv.Braq.i/Sv.Fei.i/Mv.Braq.+Erv.i; T6:Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i; T7:Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv.Pou.i; T8:Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i; T9:Sv.Erv.i/Sv.Ave.i/Sv.Nab.+Erv.+Ave.i; T10:Mv.Ocro.i/Mv.Nab.+Erv.+Ave.i/Mv.Spec.i.

Salton et al., (2011) e Cecagno (2015) obtiveram valores médios de adição de carbono no solo para um sistema com braquiária permanente de $0,30$ e $0,91 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, valor inferior ao observado nos tratamentos que continham braquiárias. Tal fato pode estar associado à diversidade na relação C/N dos materiais que compõem os tratamentos em que as braquiárias estão presentes, como o caso do T5

(milho verão – braquiária no inverno; soja verão – feijão no inverno; milho verão – braquiária + ervilhaca no inverno), que aporta altas quantidades de massa seca e explora diferentes camadas de solo.

O tratamento T9 (soja verão – ervilhaca inverno; soja verão – aveia inverno; soja verão – nabo+ervilhaca+aveia no inverno) apresenta TAC de $1,10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor semelhante ao obtido por Zatorre (2013), ao cultivar sistema que continha trigo/soja-aveia preta+ervilhaca+azevém-milho por 15 anos na região de Coxilha – RS.

Carvalho et al. (2010) afirmam que o acúmulo de carbono tem relação com o clima, sendo que em regiões de clima temperado o solo tende a acumular carbono em períodos mais longos de cultivos, diferentemente de regiões com clima tropical no qual o acúmulo é maior, decorrente da acelerada taxa de mineralização.

Os tratamentos T2 ($-0,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), T4 ($-0,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), T7 ($-0,08 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) apresentaram as menores taxas de acúmulo, não diferindo entre si. O tratamento T2 ($-0,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) representado pela sucessão de soja milho, apresenta TAC inferior ao observado por Bayer et al. (2006b) e Carvalho et al. (2009) de $0,60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $0,38 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, em mesmo sistema na região do cerrado. O mesmo pode ser observado no tratamento T4, composto pela monocultura de milho, que apresentou valor inferior ao observado por Mafra et al. (2014), avaliando sistema com sucessão de culturas entre gramíneas com componente semelhante ao experimento. É importante salientar que regiões onde são caracterizadas por clima tropical com pluviosidade regular e altas temperaturas, apresentam respostas bem acentuadas com relação ao acúmulo ou perda de carbono pro ambiente quando se relaciona com regiões em clima temperado.

Na literatura, não existem valores referenciais de taxas de acúmulo de carbono orgânico descritos para sistemas com ampla diversidade de culturas. Estudos que avaliam o acúmulo de carbono em sistemas relacionando o tempo de adoção são importantes, pois servem como referência da eficiência de cultivos nas regiões estudadas, possibilitando a recomendação do melhor sistema para cada região.

3.4. Dinâmica da matéria orgânica

No presente trabalho, os valores do coeficiente K_1 foram obtidos por levantamento literário através de estudos com culturas semelhantes, pois o método de regressão linear não apresentou ajuste significativo (Anexo C), devido ao curto tempo decorrido desde a implantação (seis anos) e à alta variabilidade de culturas estudadas. O coeficiente K_2 foi obtido pela Equação 2, proposta por Pillon et al. (2004), anteriormente descrito.

Os valores de K_2 apresentados na literatura variam de acordo com a camada do solo utilizada para sua determinação, o que dificulta a comparação entre experimentos (GRANHAM e HAYNES, 2005), pois quanto mais superficial a camada utilizada para avaliação, maior o valor de K_2 , devido a atividade dos microrganismos ser mais ativa nessa camada. Alguns autores avaliam as camadas de 0-5 cm (CERRI, 1986); 0-10 cm (DALAL e MAYER, 1986; GREGORICH et al., 1995); 0-15 cm (NICOLOSO, 2009); 0-17,5 cm (LOVATO et al., 2004; VIEIRA, 2007; VIEIRA et al., 2009) e 0-20 cm (MAZURANA et al., 2013; CECAGNO, 2015), gerando uma alta variabilidade nos resultados.

Os valores dos coeficientes K_1 , K_2 e a dinâmica da matéria orgânica em diferentes sistemas produtivos estão apresentados na Tabela 7.

Os valores de K_2 variaram de 0,0139 a 0,0635 ano⁻¹, valores superiores aos obtidos por Bayer, (1996) e Campos et al. (2011), 0,012 ano⁻¹ e 0,011 ano⁻¹ e Torres et al. (2014), com valores variando de 0,0040 até 0,0105 ano⁻¹ em Latossolo Vermelho.

Dalal e Mayer (1986); Bayer et al. (2000a) afirmam que o coeficiente K_2 é influenciado principalmente pela textura, sistema de manejo, temperatura e umidade do solo. Portanto, esperava-se valores semelhantes de K_2 para os diferentes sistemas analisados neste estudo, já que não houve alteração do tipo de solo. Porém, algumas oscilações nos valores de K_2 foram notadas, podendo elas serem justificadas pela manutenção da umidade no solo conferida pelo tempo de permanência da massa seca depositada na superfície, variável de uma cultura para outra.

Tabela 7. Coeficientes de determinação da variação anual no estoque de carbono orgânico do solo na camada de 0-20 cm em diferentes sistemas produtivos. Dourados, MS, 2017.

Tratamento	$K_1^{(1)}$	$K_2^{(2)}$	$C^{(3)}$	$A^{(4)}$	$dC/dt^{(5)}$
	-----ano ⁻¹ -----		Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹
T1	0,18	0,0139	29,92	2489,67	-0,032
T2	0,22	0,0610	31,40	8928,72	-0,050
T3	0,22	0,0635	46,74	9306,70	0,923
T4	0,25	0,0759	31,99	9787,90	-0,017
T5	0,22	0,0520	44,67	7619,47	0,648
T6	0,22	0,0484	42,66	7088,39	0,505
T7	0,22	0,0483	31,40	7069,23	-0,040
T8	0,22	0,0459	41,66	6715,71	0,433
T9	0,20	0,0371	42,77	5980,21	0,392
T10	0,22	0,0545	46,84	7977,98	0,796

⁽¹⁾ Coeficiente de humificação da matéria orgânica (determinado por média ponderada de acordo com a frequência do componente vegetativo presente no tratamento); ⁽²⁾ Coeficiente de perda de carbono orgânico total; ⁽³⁾ Estoque de carbono observado; ⁽⁴⁾ Carbono adicionado anualmente; ⁽⁵⁾ Taxa de variação no tempo do conteúdo de carbono. T1:Sv.Pou.i/Sv.Pou.i/Sv.Pou.i;T2: Sv.Mi/Sv.Mi/Sv.Mi;T3:Sv.M.+Braq.i/Sv.M.+Braq.i/SvM.+Braq.i;T4:Mv.Mi/Mv.Mi/Mv.Mi;T5: Mv.Braq.i/Sv.Fei.i/Mv.Braq.+Erv.i;T6:Mv.Trig.i/Sv.Nab.i/Mv.Trig.i;T7:Mv.Pou.i/Mv.Pou.i/Mv. Pou.i;T8:Sv.Nab.i/Mv.Cart.i/Sv.Spec.i;T9:Sv.Erv.i/Sv.Avei.i/Sv.Nab.+Erv.+Ave.i;T10:Mv.Ocro .i/Mv.Nab.+Erv.+Ave.i/Mv.Spec.i.

De acordo com Lovato et al. (2004), os menores valores de coeficiente K_2 indicam menores perdas anuais de carbono orgânico total e são um indicativo para determinação da viabilidade do tratamento, entretanto, ele não deve ser o único parâmetro utilizado para tal julgamento, uma vez que o tratamento T1 apresentou menor valor de K_2 , mas não apresentou-se como um sistema sustentável.

Analisando o tratamento T1 (Tabela 7), concluímos que o coeficiente de perda anual de carbono total é o menor encontrado entre todos os tratamentos; porém não pode-se inferir que este tratamento é considerado o sistema mais sustentável de cultivo pois, ao considerar-se os valores de estoque de carbono observado (C) e o carbono adicionado anualmente (A), temos os menores valores quando comparados aos outros estoques e aportes anuais. Isso levou a uma taxa de variação de carbono (dC/dt) de $-0,032 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor considerado abaixo do equilíbrio ($dC/dt = 0$); nessas condições, a diferença entre o aporte e a perda de carbono neste sistema é negativa, tornando-o um sistema inviável do ponto de vista agrícola e ambiental. O mesmo

acontece quando se observa o valor de estoque de carbono desde tratamento em relação aos sistemas produtivos com ampla diversidade de culturas.

É importante observar que os tratamentos T1, T2, T4 e T7, tem valores de dC/dt negativos, ou seja são considerados sistemas inviáveis, pois com o passar do tempo sofrem declínio no carbono fixado ao solo. Ainda é importante salientar que estes sistemas, caracterizados como sucessão e monocultura, respectivamente, apresentam desvantagens como já descritas anteriormente e corroborada por diversos autores.

O que se faz verdadeiro quando se observa os valores de carbono estocado no solo para esses mesmos tratamentos (Figura 5 e Tabela 7), que foram baixos em comparação demais. Mesmo aportando quantidade elevadas de massa seca sobre o solo, esses sistemas compostos por material altamente lignificado, ou seja, com alta relação C/N, o que torna sua mineralização lenta e conseqüentemente estoca menos carbono no solo.

Ferreira et al. (2012), avaliando sistema de produção composto por milho/trigo/soja/trigo obtiveram valores de dC/dt de $0,76 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a camada de 0-20 cm semelhantemente ao observado neste estudo para tratamento T6, com $0,505 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a camada de 0-20 cm.

Considerar os resultados de dC/dt como indicadores para designar o sistema que acumula mais carbono anualmente é uma boa opção, pois reflete a relação entre os sistemas utilizados e o aporte de carbono ao solo. uma vez que para esse trabalho, os tratamentos são compostos por milho e soja no verão em frequências diferentes e que então, aportam quantidades diferentes de resíduos sobre o solo, elevando ou diminuindo os coeficientes descritos por Henin e Dupuis (1945).

Embora haja necessidade de uma interpretação mais profunda do sistema como um todo. Por exemplo, observando os tratamentos T3, T5 e T10 que não apresentam melhores indicativos quando se observa o K_2 isoladamente e nem maiores acúmulos de massa seca sobre o solo, ao serem analisados com um enfoque mais amplo, eles apresentam alto estoque de carbono ao solo em relação ao início do estudo e aporte de massa seca média anual de 6284,72; 5649,30 e 5716,06 $\text{kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, valores superiores aos descritos como ideais (ALVARENGA, 2001; NUNES et al., 2006) em sistemas conservacionistas.

Considerando as avaliações realizadas neste estudo como ferramentas para indicativos de sistemas sustentáveis, a Equação 1 de Henin e Dupuis (1945) pode ser

considerada como parâmetro para adoção de um sistema, como também a taxa de acúmulo de carbono orgânico (Tabela 6) que mostrou-se viável para tal escolha.

4. CONCLUSÕES

Os sistemas de sucessão e monocultivo, apesar de proporcionar a maior deposição de massa seca sobre o solo, não aportam as maiores quantidades de carbono ao solo, como ocorre com sistemas mais diversificados de culturas.

Não foi observada relação direta entre o “A” e o C no solo, por que sistemas com diferentes espécies interferem no K_1 , ou seja, a qualidade do material afeta o valor e não apenas a quantidade.

Os tratamentos T3 e T5 apresentam maiores valores de estoque total de carbono ao solo, após seis anos de condução.

Conforme o modelo de Hennin e Dupuis (1945) os sistemas T1, T2, T4 e T7 resultam e perda do estoque de C no solo, e assim não são sustentáveis sob o aspecto agronômico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; REIS JÚNIOR, F. B. dos. **Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta**, 14. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 25 p.

ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; CLAPP, C.E. Corn-residue transformations into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage, and stover management. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.1366-1375, 2004.

ALMEIDA, K.; CAMARA, F.L.A. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p. 55-62, 2011.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVAREZ, R, A. Review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. **Soil Use and Management**, v, 21, p, 38-52, 2005.

ALVES, V. B.; PADILHA, N. de S.; GARCIA, R.A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, p.280-292, 2013.

ALVIM, M.I. da S. A; OLIVEIRA JÚNIOR, L. B. de. Análise da competitividade da produção de soja no sistema plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 3, p.505-528, 2005.

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

AMADO, T.J.C.; FERNANDES, S.B.V.; MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern. **Journal Soil Water Conservation**, v. 53 p.268-272, 1998.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 241-248, 2002.

ANDERSON, J. M.; FLANAGAN, P. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. IN: COLEMAN, D. C.; OADES, M; UEHARA, G. (eds). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**, University of Hawaii Press, 1989. p. 233-255.

ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura do solo em pré-safra a cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78f. Tese (Livre Docência). Universidade estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

ANDRIULO, A.; MARY, B; GUERIF, J. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. **Agronomie**, v. 19, p. 365-377, 1999.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; BACKES, R.L.; TÔRRES, A.N.L. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v.3, p.38-42, 2004.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural ¹⁵C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 2, p.97-101, fev. 1992.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n.1261-1263, 1996.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 398 p.

BARBOSA, C.E.M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P.R.F.; FERRARI, S. Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v.6, p.265-272, 2011.

BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.211-222, 2009.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p.151 - 163, 1996.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil And Tillage Research**, v. 91, n. 1-2, p.217-226, dez. 2006a.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ¹³C. **Soil Tillage Research**, v.53, p.95-104, 2000b.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**. v.86, p. 237-245, 2006b.

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

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

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

BECK, P.A.; STEWART, C.B.; GRAY, H.C.; SMITH, J.L.; GUNTER, S.A. Effect of wheat forage maturity and preservation method on forage chemical composition and performance of growing calves fed mixed diets. **Journal of Animal Science**. v.87, p.4133-4142, 2009.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

BOGIANI, J. C. Rotação de Culturas e Manejo para Formação de Palhada no Sistema Plantio Direto. **Boletim Passarela da Soja e do Milho 2014**, Bahia, ano 7, n. 7, p. 15, 2015.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GIROUX, M.; LAVERDIERE, M.R. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays L.*). **Plant And Soil**, v. 215, n. 1, p.85-91, 1999.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T.J.C.; SKÓRANETO, F.; SANTOS RIBEIRO, M.F.; CALEGARIA, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking Stock of the Brazilian “Zero Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. **Advances in Agronomy**, v. 91, p. 47-110, 2006.

BORGES, C. D. **Alterações microbianas do solo sob sistema de semeadura direta e rotação de culturas**. 2010, 99 f. Dissertação (mestrado em microbiologia agropecuária). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus de Jaboticabal. Jaboticabal – SP.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia na Agricultura**. v.21, p.19-33, 2006.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.4, p.897-903, 2000.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3ª edição. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA. 2013, 683 p.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BRAMBILLA, J.A.; LANGE, A.; BUCHELT, A.C.; MASSAROTO, J.A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavourapecuária, na região de Sorriso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p.263-274, 2009.

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os artigos 6, 11, 12 da lei nº 12187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; FERREIRA, A.O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1007-1014, 2012.

BRUN, E. L. **Matéria orgânica no solo em plantios de *Pinus Taeda* e *P. Elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 2008, 122 f. Tese (Doutorado em Silvicultura). Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria-RS.

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

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.277-289, 2010.

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 and Tillage Research**, v. 103 p. 342-349, 2009.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p.45-51, 2002.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 14, p. 1-8, 2015.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, p.1001-1010, 2011.

CECAGNO, D. Carbono **Orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRJ. Porto Alegre-RS.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, p. 49-54, 2002.

CERRI, C.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar**, 1986. 197 f. Tese (Livre Docência), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L; VOLKOFF, B. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagens da Amazônia brasileira. **Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, Uruguai, v.1, p. 95-102, 1992.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. v.16, p. 37-43, 2012.

CIVIDANES, F.J.; BARBOSA, J.C. Effects of no-tillage and of soybean-corn intercropping on natural enemies and pests. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 235-241, 2001.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELIOTT, E. T. Grazing land management and conversion into grazing land: effects of soil carbon. **Ecological Application**, v. 11, p. 343-355, 2001.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil And Tillage Research**, v. 129, p.40-47, 2013.

CONSENTINO, D.; CONSTANTINI, A.; SEGAT, M.; FERTIG, M. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of Argentine soil under three tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p. 981-986, 1998.

CORÁ, J.E. **Sistema de semeadura direta na região do município de Jaboticabal, SP: efeitos em atributos do solo e produtividade de culturas**. 2006. 87 f. Tese (Livre-Docência) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R.P.; FERRARI NETO, J. Persistência e liberação de elementos da fitomassa do consórcio crotalária com milheto sob fragmentação. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 197-208, 2014.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANNATA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, K. A. de P.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, I. P.; HEINEMANN, A. B.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. Adubação fosfatada e potássica no crescimento e nutrição da *Crotalaria juncea* L. **Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 5, p. 827-831, 2006.

COSTA, M. J. N. da; PASQUALLI, R. M.; PREVEDELLO, R. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 1, p.63-70, mar. 2014.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P; PARIZ, C. M. BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.852-863, 2015.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no till system. **Agronomy Journal**, v.101, p.40-46, 2009.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon na its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, v. 24, p; 281-292, 1986.

DEMÉTRIO, J. V.; COSTA, A. C. T.; OLIVEIRA, P. S. R. Produção de biomassa de cultivares de aveia sob diferentes manejos de corte. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 198-205, 2012.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.8, n.2, p.253-263, 1986.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35)

Embrapa Agropecuária Oeste: **Estatísticas**. Dourados, 2017. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/clima/?lc=site/boletins/boletinsDetalhes&ci=79&cat=Ventos&edicao=Edi%C3%A7%C3%A3o:%20Mar%C3%A7o%20de%202016&mes=Mar%C3%A7o>>. Acesso em 01 de jan. 2017.

ENSINAS, S. C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo.** 2015. 98 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

FANCELLI, A. L.; MACHADO, J. (ORG.); TORRADO, P. V. **Atualização em plantio direto.** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. 343p.

FERREIRA, A. C. B.; LAMAS, F. M.; CARVALHO, M. C. S.; SALTON, J. C.; SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.6, p.546-553, jun. 2010.

FERREIRA, A. de O.; SÁ, J.C. de M.; HARMS, M.G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; QUADROS NETTO, C.; SANTOS, J.B. dos; CANALLI, L.B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p.1583- 1590, 2012.

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no cerrado.** 2013. 235 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília-DF.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1625-1635, 2007.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C. COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Tributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

FONTANELLI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELLI, R. S.; OLIVEIRA, J. T. LEHMEN, R. I.; DREON, G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELLI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELLI, R. S. (Ed). **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira.** Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 127 – 172.

Food and Agriculture Organization of United Nations. Manual de sistema de labranza para América Latina. Argentina, 1991. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=bpHSafz3Ma0C&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 02 de dez. 2016.

FOREST, F.; RAUNET. M.; LINDON, B. Production of primary biomass and sequestration of carbon with a high water. **Regional Workshop on Conservation Agriculture**, Laos 2008. Disponível em: https://agritrop.cirad.fr/560106/1/document_560106.pdf. Acesso em: 01 de dez. 2016.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; ELENO TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.** EMBRAPA Soja. Londrina - PR, 2011, 52 p.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1- 2, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, R. G. **Rotação de Culturas com Oleaginosas e Gramíneas na Produção de Soja e Milho.** 2014. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

FRANZLUEBBERS, A.J. Integrated crop-livestock systems in the Southeastern USA. **Agronomy Journal**, v.99, n.2, p.361-372, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.893-901, 2005.

GARCIA, R. A., LI, Y., ROSOLEM, C. A. Soil organic matter an physical attributes affected by crop rotation under no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 1724-1731. 2013.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Massa seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27. p.325-334, 2003.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; MANGABEIRA, J. A. de C. Estudo da sustentabilidade agrícola em município amazônico com análise envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 1, p.23-42, 2009.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J. Organic matter accumulation and fertilizerinduced acidification Interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long term sugarcane management experiment. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, p. 249-256, 2005.

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

GREGORICH, E. G.; ROCHETTE, P.; VANDENBYGAART, A. J.; ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 83, p. 53-72, 2005.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M. I. S.; da SILVA, O. T.; da SILVA, T. L.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 177–182. 2013.

HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. **Management of Nitrogen and Water in Potato Production**. Países Baixos: Wageningen Academic Publishers, 2000. 360 p.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001.

HENIN, S. E.; DUPUIS, M. Essai de bilan de La matiere organique Du soil. **Annales Agronomiques**, v. 15, p.17-29, 1945.

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

IPNI - International Plant Nutrition Institute. **4C Nutrição de Plantas. Um Manual Para Melhorar o Manejo da Nutrição de Plantas**. Piracicaba - SP, International Plant Nutrition Institute. 2013, 134 p.

JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "Young" soil organic matter. **Plant and Soil**, v. 76, p. 297-304, 1984.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; 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 and Tillage Research**, v.95, p.97-109, 2007.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B. H.; JUMA, N.; MCGILL, W. B. e ZENTNER, R. P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil and Tillage Research**, v. 47, p. 181-195, 1998.

KLIEMANN, H.J.; BRAGA BRAZ, A. J. P.; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21- 28, 2006.

KUO, S.; SAINJU, U.M. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, n. 4, p. 346-353, 1998.

LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A. SÁ, M. E. de; GOMES JUNIOR, F. G. Viabilidade Econômica da Rotação de Culturas e Adubos Verdes Antecedendo o Cultivo do Milho em Sistema plantio direto em Solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p.298-307, 2005.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1273-1280, 2010.

LINÈRES, M.; DJAKOVITCH, J. L. Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. In : **Matières organiques et agriculture**. 4 èmes journées de Blois GEMAS - COMIFER, França. 1993.

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: Associação Nacional para Difusão de Adubos. v.1, 2004, 110 p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, out. 2011.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

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

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, D. M.; SCHOSSLER, T. R.; ZUFFO, A. M.; FABRÍCIO RIBEIRO DE ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15, p. 180 - 195, 2012.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. **Química Nova**. São Paulo - SP, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.49, p.630-638, 2014.

MAIA, C. M. B. de F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. p. 101 – 108.

MARTINEZ-SALGADO, M. M.; GUTIERREZ-ROMERO, V.; JANNSENS, M.; ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. In: MENDEZ-VILAS, A. (Ed.). **Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology**. Formatex Research Center. Extremadura: Formatex Research Center, 2010. p. 319–328.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas multirreferencial**. Campo Grande: Convênio Governo do Estado e Fundação IBGE. 1990. 28 p.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; CAMARGO, E.; CAMARGO, F. A. O. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, p. 288-296, 2013.

McKENNEY, D. J.; WANG, S. W.; DRURY, C. F.; FINDLAY, W. I. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and non limited residue-amended soil. **Soil Science Society American Journal**, v. 59, p. 118-124, 1995.

MENDONÇA, V. Z de; MELLO, L. M. M. de; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO; W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p.251-259, 2013.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N, et al, (eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**, v.33 p. 209-248, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006, 626 p.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. (coords); VALLE, D.; MELLO, I. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Parque Itaipu. Foz do Iguaçu - PR. 2015, 144 p.

NICOLOSO, R. S. Estoques e mecanismo de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical . 2009. 108p. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

NUNES, R.S., A.A.C. LOPES, D.M.G. DE SOUSA, E.I.C. MENDES. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.1407–141, 2011.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.A.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.943-948, 2006.

OLIBONE, A. P. E. **Ciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de culturas**. 2008, 141 f.. Tese (Doutorado em Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus de Botucatu. Botucatu – SP.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p.393-486, 2002.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.17- 25, 2011.

PACHECO, L.P.; PIRES, F.R.; MONTEIRO, F.P.; PROCOPIO, S.O.; ASSIS, R.L.; CARMO, M.L.; PETTER, F.A. Desempenho de plantas de cobertura em

sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.7, p.815-823, 2008.

PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v.75, p.1-12, 1997.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BERGAMASCHINE, A.F.; BUZZETTI, S.; COSTA, N.R.; CAVALLINI, M.C.; ULIAN, N. de A.; LUIGGI, F.G. Yield, chemical composition and chlorophyll relative content of Tanzânia and Mombaça grasses irrigated and fertilized with nitrogen after corn intercropping. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.728-738, 2011a

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BUZZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; ULIAN, N.A.; FURLAN, L.C.; MEIRELLES, P.R. de L.; CAVASANO, F.A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-2037, 2011b

PARIZ, C.M.; FERREIRA, R.L.; SÁ, M.E. de; ANDREOTTI, M.; CHIODEROLI, C.A.; RIBEIRO, A.P. Qualidade fisiológica de sementes de Brachiaria e avaliação da produtividade de massa seca, em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.330-340, 2010.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society America Journal**, v.51, p.1173-1179, 1987.

PATRICHE, C.V., PIRNAU, R.G., ROSCA, B., STOICA, D.L., 2012. Assessment of soil erosion and its impact on humus spatial and temporal dynamics. **Bulletin UASVM Agriculture**, v. 69, p. 185-194. Romenia.

PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. H.; ELLIOT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-Term Experiments in North America**. [S. l.]: CRC Press, 1996. 432 p.

PELÁ, A. **Uso de Plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal-SP**. 2002. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p.508-514, maio 2010.

PILLETI, L. M. M. da S. **Desempenho agrônomo de milho e soja em diferentes sistemas de rotação de culturas**. Dourados, 2016. 76 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Ciclagem da matéria orgânica em sistemas agrícolas. **Embrapa Clima Temperado**, 2004. 27 p.

PONGRATZ, J.; BOUNOUA, L.; DEFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; ANDERSON, L.O. The Impact of Land Cover Change on Surface Energy and Water Balance in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 10, n. 19, p.1-17, out. 2006.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba - SP, International Plant Nutrition Institute. 2011, 420 p.

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G.. Nitrogen-15 Recovery and Release by Rye and Crimson Clover Cover Crops. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 61, n. 3, p.943-948, 1997.

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

RESENDE, T. M. **Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal na bacia do ribeirão bom jardim no triângulo mineiro (MG)**. 2011, 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Uberlândia - MG, 2011.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Special Report, v. 48, 1993. 26 p.

RIZZARDI, M.A.; SILVA, L.F. Influência das coberturas vegetais antecessoras de aveia-preta e nabo forrageiro na época de controle de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p.669-675, dez. 2006.

RODRIGUES FILHO, F.S.O.; M.A.N. GERIN; T. IGUE; C.T. FEITOSA; R.R. dos SANTOS. Adubação verde e orgânica para o cultivo de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agricola**, v.53, p.88 – 93, 1996

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**, v.19, p.252–258, 2015.

SÁ, J.C.M., C.C. CERRI, W.A. DICK, R. LAL, S.P. VESNKE-FILHO, M.C. PICCOLO, e B.E. FEIGL. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p.1486-1499, 2001.

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

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; Teor e dinâmica do carbono no em solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p. 1349-1356, 2011.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; TOMM G.O.; KOCHANN, R.A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo, de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v. 67, p. 441-54, 2008.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L. RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p.928-935, 2007.

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

SILVA, J. C.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; MENDONÇA, L. B. P.; FREITAS, M. C. M. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: Aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia - GO, v. 7, n.12, p. 1 - 11, 2011.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do Solo. *In*: VERGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos do cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 465-524.

SILVA, M.G.; ARF, O.; ALVES, M.C.; BUZETTI, S.; Sucessão de culturas e sua influencia nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.335- 347, 2008.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011-1020, 2006.

SILVA, J. E. da; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, L.; VIVALDI, L. Carbon storage in a clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVEIRA NETO, A. N.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 29-35, 2006.

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DONZET, J-M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.187-195, 2010.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto, em Tibagi (PR). I -

Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1013-1022, 2009.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; MORAES, J. C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, n. 7-8, p.755-775, 2002.

SLEUTEL, S.; NEVE, S. D.; BENOIT, S.; and HOFMAN, G. Quantification of organic carbon in soil: A comparison of methodologies and Assessment of the carbon content of organic matter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.2647-2657, 2007.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGALE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 27, n. 2, p. 417 - 426, 1993.

SOUZA, E.D.; COSTA, S. E.V .G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; EGON JOSÉ MEURER, J.E.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, M. F. P. **Plantas de cobertura e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos do solo**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP.

SPIASSI, A.; FORTES, A. M. T.; PEREIRA, D.C.; SENEM, J.; TOMAZONI, D. Alelopátia de palhadas de coberturas de inverno sobre o crescimento inicial de milho Semina: **Ciências Agrárias**, v. 32, p. 577-582, 2011.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p.401-408, 19 set. 2011.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. **Influência de Sistemas de Rotação de Culturas nos Atributos Físicos do Solo**. Boletim de pesquisa e Desenvolvimento 16. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás - GO, 2005, 15 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v.66, p.617-622, 2007.

TORRES, J.L.R.; CUNHA, M. A.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, D. M. S. Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, v.27, n.4, p.117-125, 2014.

VAN VEEN, J.; PAUL, E. A. Organic C dynamics in grassland soil. I Background information e computer simulation. **Canadian Journal Soil Science**, v.61, p.185-201, 1981.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.599-610, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

VIDAL, R. A.; PORTUGAL, J.; KRUSE, N. D. Histórico Mundial das rotações de culturas. **Revista Plantio Direto**, n. 142/143, 2014.

VIEIRA, F. C. B. **Estoque e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. 2007. 124p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. SIX, J. VIEIRA, F. C. B. Building up organic matter in a subtropical paleudult under legume cover-crop-based rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p. 1699-1706, 2009.

ZATORRE, N. P. **Carbono e nitrogênio no solo em rotação de culturas em sistema plantio direto e convencional**. 2013. 94p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

ANEXOS

Anexo A. Análise química do solo amostrado na camada de 0-40 cm em março de 2009. Dourados, MS, 2017.

Camada (cm)	M,O (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	K -----	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V (%)
----- (mmolc dm ⁻³)-----											
0-5	28,07	4,80	11,00	4,40	0,60	36,00	19,00	50,00	59,40	109,40	54,00
5-10	27,63	4,60	10,00	2,10	0,60	28,00	12,88	66,00	42,98	108,98	39,43
10-20	22,03	4,40	8,00	1,20	14,10	19,00	8,00	89,00	28,20	117,20	24,00
20-40	22,32	4,50	9,00	1,50	8,00	16,00	6,00	72,00	23,50	95,50	24,00



(I)



(II)

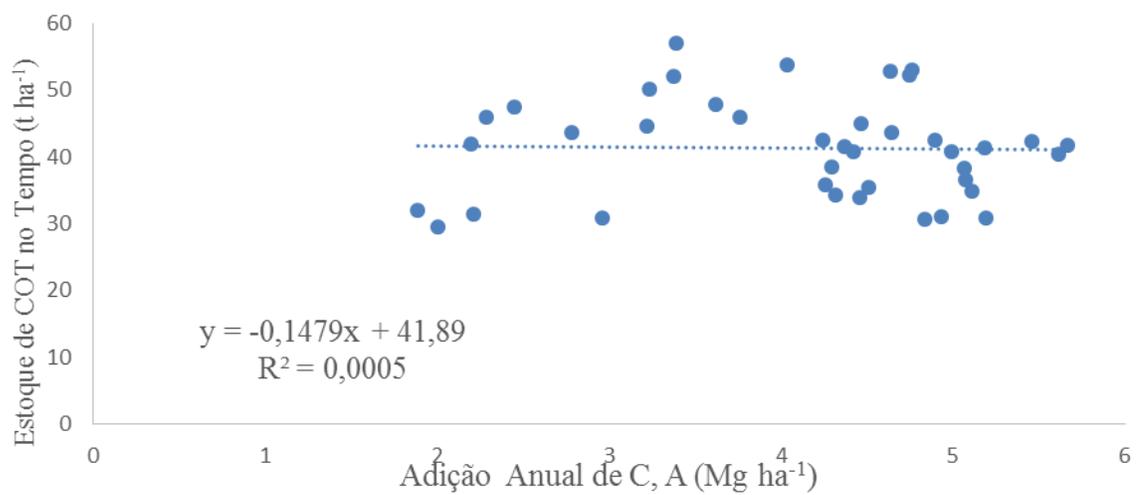


(III)



(IV)

Anexo B. Fotos da coleta de massa seca (I, II e III) e coleta de solo (IV). UFGD, Dourados, MS, 2017.



Anexo C. Regressão linear entre adição anual de carbono aportado pelos resíduos e estoque de carbono no solo pelo tempo . UFGD, Dourados, MS, 2017

Anexo D. Análise química do solo amostrado na camada de 0-10 cm em outubro de 2015. Dourados, MS, 2017.

Tratamentos	pH água	pH CaCl	Al	Ca	Mg	H+Al	K	P	S	SB	T(pH7)	T(ef)	M	V	MO
			(mmol dm ⁻³)				(mg dm ⁻³)		(mmol dm ⁻³)			%		(g kg ⁻¹)	
Pousio sobre soja verão	5,90	5,20	0,00	67,73	11,67	58,10	4,57	20,43	9,93	83,93	142,03	83,93	0,00	59,63	25,43
Milho	5,83	5,13	0,33	63,93	13,17	61,50	4,07	31,47	8,90	81,13	142,60	81,47	0,47	57,27	26,90
Milho+braquiária	5,77	5,07	0,50	64,83	13,07	64,07	4,50	23,93	6,43	82,40	146,43	82,90	0,67	56,27	27,50
Milho verão/milho inverno	5,57	4,83	1,67	52,87	11,10	72,43	5,97	16,83	10,70	69,93	142,37	71,60	1,50	49,47	27,07
Braquiária+ervilhaca	5,63	4,90	0,67	53,13	12,33	69,83	6,77	22,47	9,30	72,23	142,10	72,90	0,97	50,97	28,27
Trigo	5,57	4,80	0,67	54,33	9,73	76,30	5,27	20,27	10,13	69,37	145,67	70,03	1,00	47,57	31,80
Pousio sobre milho verão	5,77	5,07	0,00	60,47	12,37	59,23	5,07	26,60	8,47	77,87	137,03	77,87	0,00	56,77	27,93
Milho+C. <i>spectabilis</i>	5,70	5,00	0,00	62,70	12,50	63,63	5,83	17,70	8,97	81,07	144,67	81,07	0,00	56,20	29,13
Nabo+ervilhaca+aveia	5,73	5,03	1,17	55,10	10,93	63,63	7,53	27,57	12,73	73,53	137,20	74,70	1,83	54,07	30,47
Crotalaria <i>spectabilis</i>	5,57	4,83	1,33	56,37	10,30	71,77	6,57	22,37	14,27	73,27	145,00	74,60	1,97	50,57	30,30