UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
***CAMPUS* RIO PARANAÍBA**
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FABRÍCIA FLÁVIA ANDRIOLI MARUYAMA

AGREGAÇÃO E CARBONO ORGÂNICO DE UM LATOSSOLO CULTIVADO POR QUATORZE ANOS NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

FABRÍCIA FLÁVIA ANDRIOLI MARUYAMA

AGREGAÇÃO E CARBONO ORGÂNICO DE UM LATOSSOLO CULTIVADO POR QUATORZE ANOS NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T

M389a
2017

Maruyama, Fabricia Flávia Andrioli, 1982-

Agregação e carbono orgânico de um latossolo cultivado por quatorze anos nos sistemas convencional e plantio direto / Fabricia Flávia Andrioli Maruyama. – Rio Paranaíba, MG, 2017.

vii, 30f : il. ; 29 cm.

Orientador: Alberto Carvalho Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.23-30.

1. Plantas de cobertura. 2. Classes de agregados. 3. Sistemas conservacionistas. I. Universidade Federal de Viçosa. Campus UFV - Rio Paranaíba. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal (Campus CRP). II. Título.

631.41

FABRÍCIA FLÁVIA ANDRIOLI MARUYAMA

AGREGAÇÃO E CARBONO ORGÂNICO DE UM LATOSSOLO CULTIVADO POR QUATORZE ANOS NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de junho de 2017.

_____
Mara Cristina Pessôa da Cruz
(Coorientador)

_____
Renato de Mello Prado

_____
Alberto Carvalho Filho
(Orientador)

Dedicado ao meu marido Antônio e à minha filha Laís.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades concedidas e pelas vitórias alcançadas!

Ao meu marido Antonio, por sempre estar ao meu lado. Obrigada pelo apoio incondicional, pelo carinho, cumplicidade, paciência e por me proporcionar momentos de felicidade e de alegria;

À minha filha Laís, que me inspira a viver e me dá forças para nunca desistir;

Aos meus pais, Itamar e Maurizeni, todo o meu respeito e admiração! Agradeço por, sempre, dispensarem os cuidados essenciais à minha formação como ser humano;

Aos meus irmãos, Giseli, Itamar e Mayara, por sempre estarem ao meu lado;

Aos amigos Janaina, Gustavo, Adriana, Ricardo, Alzira e Giovani pelo apoio de todas as horas. Vocês estiveram presentes nos momentos mais felizes e, também, nos momentos mais difíceis, sempre me mostrando o sentido da verdadeira amizade.

À Universidade Federal de Viçosa, UFV – *Campus* Rio Paranaíba, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao meu orientador, Professor Dr. Alberto Carvalho Filho, por acreditar e confiar em mim na execução desse trabalho;

À minha coorientadora, Professora Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, pelo apoio, dedicação, amizade e paciência;

Aos meus coorientadores, Professores Renato Adriane Alves Ruas, Luis César Dias Drumond, Pedro Ivo Vieira Good God pelo apoio.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, por proporcionarem valiosos momentos de aprendizado;

Às pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que meu curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, se tornasse realidade;

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

“Se você olhar para o que tem na vida, sempre terá a mais. Se você olhar para o que não tem nunca terá o suficiente.”

Oprah Winfrey

SUMÁRIO

Página

RESUMO..... vi

ABSTRACT..... vii

1 INTRODUÇÃO..... 01

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 02

3 MATERIAL E MÉTODOS..... 08

3.1 Caracterização da área experimental – clima e solo..... 08

3.2 Histórico da área..... 09

3.3 Tratamentos e delineamento experimental..... 10

3.4 Instalação e condução do experimento na safra 2014/2015..... 10

3.5 Avaliações..... 11

3.5.1 Produção de matéria seca da parte aérea, concentração de carbono e nitrogênio e análise bromatológica da parte aérea e das raízes das plantas de cobertura..... 11

3.5.2 Determinação dos índices de agregação e do teor de carbono orgânico nas classes de agregados do solo..... 13

3.6 Análise estatística..... 14

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 15

5 CONCLUSÕES..... 22

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 23

RESUMO

MARUYAMA, Fabrícia Flávia Andrioli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, junho de 2017. **Agregação e carbono orgânico de um Latossolo cultivado por quatorze anos nos sistemas convencional e plantio direto**. Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: Renato Adriane Alves Ruas, Luis César Dias Drumond, Mara Cristina Pessôa da Cruz e Pedro Ivo Vieira Good God.

Os sistemas de cultivo interferem no conteúdo de carbono e na agregação do solo. A estrutura é uma das propriedades que mais interfere na qualidade do solo e, deste modo, há expectativa de aumento de produtividade com a adoção de sistemas de cultivo que favoreçam a agregação. Objetivou-se, em experimento de longa duração, avaliar os índices de agregação e o teor de carbono orgânico nas classes de agregados de um Latossolo em sistemas convencional e plantio direto com cultivo de plantas de cobertura em pré-safra. O experimento foi instalado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura argilosa, em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, um tratamento em sistema convencional e mais seis tratamentos em plantio direto, com as seguintes plantas de cobertura em pré-safra de milho: mucuna-cinza, lablab, feijão-de-porco, guandu-anão, milheto e vegetação espontânea (VE). A coleta das amostras de solo foi realizada nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm para a avaliação da estabilidade dos agregados, com separação nas seguintes classes de tamanho: macroagregados (diâmetro > 2,00 mm), mesoagregados (diâmetro entre 2,00 e 0,25 mm) e microagregados (diâmetro entre 0,25 e 0,05 mm). Além das parcelas do experimento foi amostrada também uma área de mata adjacente para determinação do índice de sensibilidade. A determinação do C orgânico foi feita nas amostras que ficaram retidas nas peneiras. No sistema plantio direto ocorreu predominância de macroagregados, na camada de 0-5 cm, e de mesoagregados, na camada de 5-10 cm. Os índices de agregação no plantio direto com plantas de cobertura foram maiores do que no sistema convencional, na camada de 0-5 cm, e o índice de sensibilidade demonstrou que o uso do sistema plantio direto por quatorze anos melhorou a estabilidade dos agregados do solo. No plantio direto, o cultivo de plantas de cobertura e a VE resultaram em índices de agregação semelhantes, quatorze anos após a implantação do sistema, e a mucuna-cinza foi a espécie menos eficiente na agregação do solo, na camada de 0-5 cm. O teor de C orgânico decresceu com a diminuição do tamanho dos agregados em todos os sistemas de cultivo.

ABSTRACT

MARUYAMA, Fabrícia Flávia Andrioli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, June, 2017. **Aggregation and soil organic carbon in a long-term experiment with conventional and no-tillage systems.** Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-advisors: Renato Adriane Alves Ruas, Luis César Dias Drumond, Mara Cristina Pessôa da Cruz and Pedro Ivo Vieira Good God.

Cultivation systems interfere with soil carbon content and aggregation. Structure is one of the properties that most influence soil quality and hence productivity is expected to increase with the adoption of cultivation systems that favor aggregation. The present thesis had the objective of evaluating aggregation indexes and organic carbon content in classes of aggregates from soil samples in conventional and no-till systems with cultivation of cover crops in the pre-cropping period, in long-term experiment. The experiment was installed in typical dystrophic Hapludox, with clayey texture, in a randomized block design with four replications, exhibiting one conventional and six no-till treatments with the following pre-cropping cover crops: velvet bean gray, lablab, jack bean, pigeon pea, millet and spontaneous vegetation. Soil samples were collected from layers 0-5 cm and 5-10 cm depth to evaluate the stability of the aggregates, with separation of material according to the following size categories: macroaggregates (diameter > 2.00 mm), mesoaggregates (diameter between 2.00 and 0.25 mm) and microaggregates (diameter between 0.25 and 0.05 mm). In addition to the experiment samples, an area of adjacent forest was also analyzed to assess the sensivity index. Determination of organic carbon was carried out in the samples retained in sieves. In no-till samples, macroaggregates prevailed in the 0-5 cm layer and mesoaggregates predominated in the 5-10 cm layer. Aggregation indexes for no-till treatment with cover crops were larger than the values obtained for the conventional system and the sensitivity index revealed that using a no-till treatment for fourteen years increased the stability of soil aggregates. In this system, the cultivation of cover crops and spontaneous vegetation for fourteen years resulted in aggregation indexes similar to the ones recorded before the implementation of this cultivation method and velvet bean gray was the least efficient species to cause soil aggregation in the 0-5 cm layer. The content of organic carbon decreased as the aggregate size reduced in both cultivation systems.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas conservacionistas de manejo colaboram para o equilíbrio ambiental, sendo o plantio direto uma das melhores alternativas sustentáveis para conservação dos recursos naturais. O sistema plantio direto se apoia no não revolvimento do solo e na manutenção do solo coberto, o que minimiza perdas de solo por erosão em relação ao cultivo convencional, no qual há revolvimento periódico do solo. O uso prolongado do sistema plantio direto, com cultivo de gramíneas e leguminosas de cobertura em pré-safra, pode aumentar os índices de agregação do solo e o teor de carbono nas classes de agregados.

Em regiões de clima tropical como o Brasil, predominam temperaturas altas que, associadas à umidade elevada, dificultam o acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo para formar a cobertura característica das áreas em plantio direto. Uma boa cobertura do solo é imprescindível para o sucesso da implantação, manutenção e viabilização do sistema plantio direto.

As regiões norte e nordeste do Estado de São Paulo apresentam inverno seco e relativamente quente, o que compromete o cultivo de espécies economicamente importantes em safrinha para produção de grãos e de fitomassa. Estas culturas, em outras condições climáticas, auxiliam na renda do produtor e na formação de cobertura do solo, embora os resíduos produzidos pelas culturas comerciais, geralmente, sejam insuficientes para propiciar uma boa cobertura.

Nas regiões de inverno seco a utilização de plantas de cobertura em pré-safra é uma alternativa para adoção do sistema plantio direto. As plantas de cobertura são capazes de produzir grande quantidade de fitomassa, contribuindo para a formação de cobertura sobre o solo, que tem efeito direto na diminuição do impacto das gotas de chuva que causam a quebra dos agregados do solo. Além do efeito direto, um dos principais efeitos do cultivo de plantas de cobertura é o aumento do teor de matéria orgânica na camada mais superficial do solo, porque os restos culturais que ficam sobre o solo se decompõem mais lentamente e, com isso, há tendência de acúmulo (Bettiol, 2014). O aumento do teor de MO pode contribuir para a melhora da estrutura do solo, visto que a matéria orgânica do solo é aceita como um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados do solo.

Gramíneas e leguminosas podem ser usadas como plantas de cobertura. As leguminosas apresentam como vantagem a fixação biológica de N_2. As gramíneas produzem maior quantidade de fitomassa e têm sido citadas como as espécies mais promissoras na agregação do solo, devido ao sistema radicular abundante e de rápido crescimento, o qual promove o agrupamento das partículas do solo.

As regiões de inverno seco do Estado de São Paulo têm pouca tradição de uso de plantio direto e há necessidade de, para estas regiões, avaliar os benefícios que podem ser obtidos, em longo prazo, com o cultivo de diferentes espécies de plantas de cobertura em pré-safra, em relação ao plantio convencional. Deste modo objetivou-se, em experimento de longa duração, avaliar os índices de agregação e o teor de carbono orgânico nas classes de agregados de um Latossolo sob sistemas convencional e plantio direto com cultivo de plantas de cobertura em pré-safra.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A matéria orgânica do solo (MOS) é o maior reservatório de carbono (C) da superfície terrestre (Anderson, 1995). A conversão de florestas nativas em áreas agrícolas, geralmente resulta em decréscimo de 20 a 30% no teor de C do solo (Don et al., 2011; Poeplau et al., 2011). Nesta situação, a maior taxa de diminuição ocorre nos primeiros anos e o novo equilíbrio é atingido em aproximadamente 23 anos (Poeplau et al., 2011). Mudanças no ambiente do solo decorrentes de práticas de manejo inadequadas também contribuem para levar o estoque de C ao rápido declínio, além de alterar propriedades do solo, entre elas a agregação, que está relacionada à estrutura do solo (Loss et al., 2009).

O termo estrutura do solo refere-se ao tamanho, à forma e ao arranjo dos sólidos e vazios, à continuidade de poros e vazios, à sua capacidade de reter e transmitir fluidos e substâncias orgânicas e inorgânicas, bem como à habilidade de suportar crescimento e desenvolvimento vigoroso de raízes (Bronick & Lal, 2005). É, portanto, um atributo fundamental para que o solo tenha capacidade de cumprir suas funções e garantir sua qualidade (Doran & Parkin, 1994).

A formação dos agregados, que são as unidades básicas da construção da estrutura do solo, ocorre mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos.

A agregação do solo pode resultar da ação de aproximação mecânica por células e hifas de organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição, que agem separadamente ou em combinação (Baver et al., 1973).

Agregados menores do que 0,25 mm são formados pela interação de moléculas orgânicas, cátions polivalentes e partículas minerais da fração argila (Edwards & Bremner, 1967), principalmente caulinita e óxidos de Fe, nos solos oxídicos. Agregados maiores do que 0,25 mm são formados pela união mecânica dos microagregados durante o crescimento das raízes de plantas vivas e hifas de fungos rizosféricos (Tisdall & Oades, 1982; Miller & Jastrow, 1990; Tisdall, 1994). Em outro processo, fragmentos de plantas em decomposição e colônias de bactérias formam macroagregados por meio da interação dos polissacarídeos extracelulares, produzidos ao seu redor, com microagregados e partículas simples. Esses macroagregados rompem-se em microagregados quando a atividade microbiana ao redor dos fragmentos de plantas e colônias de bactérias é reduzida pela diminuição da disponibilidade de C orgânico para a sua atividade (Golchin et al., 1998).

Para avaliar a estabilidade dos agregados do solo podem ser utilizados a percentagem de agregados retidos por classe de tamanho e os índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG). O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes, retidos nas peneiras com malhas maiores. O DMG representa apenas uma estimativa do tamanho das classes de agregados de maior ocorrência (Castro Filho et al., 1998). A caracterização pelo tamanho de agregados tem grande importância no manejo do solo e na implantação da cultura, pois permite avaliar o efeito mecânico dos sistemas de cultivo adotados, associando-os às condições adequadas de desenvolvimento das plantas (Coan, 1995).

Ao compararem dados de agregados do solo entre sistemas de plantio com os de uma mata nativa, Costa et al. (2003) comprovaram que com o sistema convencional houve degradação de propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade dos agregados do solo. No sistema plantio direto observaram melhorias nas condições estruturais, evidenciadas principalmente pelo aumento de 126% no índice DMG em relação ao sistema convencional de plantio. Raczkowski et al. (2012) demonstraram que

o preparo do solo, por três anos, resultou em decréscimo de 40% na estabilidade dos agregados.

Como o intenso trabalho mecânico do solo diminui o diâmetro médio geométrico dos agregados, Grohmann & Arruda (1961), visando preservar a estrutura, recomendaram a menor mobilização possível do solo. Assim, quanto menor o número de operações mecanizadas para a exploração agrícola, maiores serão os benefícios em termos de sustentabilidade ambiental (Levien et al., 2003).

Além do preparo do solo, o teor de matéria orgânica, entre outros fatores, determina a estabilidade dos agregados ao longo do tempo (Watanabe et al., 2008). Tavares Filho et al. (2012) concluíram que argila total, densidade do solo, resistência à penetração, matéria orgânica e pH são os atributos do solo mais importantes para estimar o índice de estabilidade de agregados.

A manutenção do bom estado de agregação e a estabilidade dos agregados e, consequentemente, de uma boa estrutura, é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (Silva & Mielniczuk, 1997). Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura ao solo, provendo o interior deste com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e circulação de ar e água. Contudo, o que confere maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a ação biológica, como atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros (Salton et al., 2008).

A matéria orgânica do solo é aceita como um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados do solo (Noellemeyer et al., 2008; Barreto et al., 2009). Substâncias orgânicas, principalmente as húmicas, formam um filme sobre as partículas de solo, cimentando-as em agregados estáveis (Stevenson, 1994).

O tipo de vegetação também interfere na agregação e no conteúdo de carbono do solo, ou seja, as gramíneas, por possuírem sistema radicular abundante e de rápido crescimento, são capazes de agrupar fisicamente as partículas de solo e, em conjunto com a liberação de exsudatos, estimulam a cimentação dessas partículas (Salton et al., 2008; Santos et al., 2014). A utilização de capim-pangola, com sistema radicular denso, promoveu, em 17 anos, a recuperação da proporção de macroagregados do solo, mesmo com diminuição no estoque de C, evidenciando a ação eficiente do sistema radicular na recuperação da agregação de solos degradados (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

As leguminosas, mesmo apresentando menor abundância de raízes em comparação com as gramíneas, também contribuem para o processo de agregação do solo (Perin et al., 2002), provavelmente devido à modificação no teor de matéria orgânica (Paladin & Mielniczuk, 1991).

Para Denef & Six (2005), em solos sob clima tropical, o C pode ter papel secundário na formação dos agregados, ocorrendo nesta situação, principalmente, a ligação mineral-mineral por meio de interações eletrostáticas entre óxidos, principalmente de Fe e Al. Essas interações são consideradas como "agentes cimentantes permanentes", os quais têm efeito predominante na formação e estabilização de microagregados, enquanto a formação e a estabilização de macroagregados são determinadas por agentes cimentantes temporários, que têm ação mecânica, como as hifas de fungos e as raízes de plantas (Tisdall & Oades, 1982).

A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico ao solo para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. A adoção de sistemas de manejo de solo e de cultura, adequadamente conduzidos, proporciona aporte de material orgânico através dos resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção à superficie do solo (Campos et al., 1995).

Os resíduos produzidos pelas culturas comerciais, geralmente, são insuficientes para produzir boa proteção da superfície do solo. Tal proteção pode ser obtida utilizando-se plantas de cobertura, que são espécies empregadas com o objetivo de produzir fitomassa, sendo seus resíduos mantidos na superfície do solo para a formação de cobertura morta (Andrioli, 2004). A produção de matéria seca por espécies utilizadas para cobertura do solo depende das condições climáticas, edáficas, fitossanitárias, das práticas de manejo e, em grande parte, também da agressividade do sistema radicular, uma vez que sua profundidade está relacionada à maior produção de biomassa (Carvalho & Amabile, 2006).

O emprego de plantas de cobertura está entre as práticas que visam à sustentabilidade do solo agrícola, podendo ser cultivadas em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas principais (Alcântara et al., 2000), com objetivo de melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Nascimento et al., 2005).

As plantas de cobertura têm, entre outras, a função de proteger o solo contra o impacto das gotas de chuva, diminuindo assim o risco de erosão e tornando o ambiente mais propício para que haja ciclagem dos nutrientes que estão contidos nos restos vegetais. Ainda, diminuem a perda de nutrientes e contribuem para a manutenção e/ou melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

A utilização de plantas de cobertura em sucessão a culturas principais tem resultado em incremento no teor de carbono do solo, principalmente nas camadas superficiais (Bayer et al., 2004; Carmo et al., 2012).

Além de acarretar maior entrada de carbono, a fitomassa das espécies de cobertura também tem influência nas propriedades do solo, uma vez que atua como isolante entre o solo e a atmosfera. Em solos com boa cobertura a ação direta das gotas de chuva diminui, a umidade e a temperatura são mais uniformes, o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana são favorecidos e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação e melhor estruturação do solo (Campos et al., 1999).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1996), por meio do seu Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste, recomenda o uso de culturas de cobertura na sucessão de espécies em sistemas produtivos, que possuam características como: capacidade de produção de grande quantidade de matéria seca; elevada taxa de crescimento; resistência à seca e ao frio; ausência de problemas de infestação de áreas, facilidade de manejo, sistema radicular vigoroso e profundo para melhor reciclar os nutrientes, e relação C/N alta.

Entre as diversas leguminosas utilizadas para cobertura do solo destacam-se: *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, mucunas-cinza e preta (*Mucuna nivea* e *Mucuna aterrima*, respectivamente), lablab (*Dolichos lablab*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e guandu-anão (*Cajanus cajan*) (Arf et al., 2000; Cazetta et al., 2005; Silveira et al., 2005; Torres et al., 2005; Suzuki & Alves, 2006).

O sucesso do plantio direto depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano, o que significa que áreas destinadas às culturas de primavera-verão não devem permanecer em pousio durante o inverno (Ceretta et al., 2002). Conforme Alvarenga et al. (2001) a adição mínima de restos vegetais em sistema de rotação de culturas, de maneira que se mantenha a cobertura do solo adequada, é de 6 t ha^{-1} por ano de matéria

seca, pelo fato de a decomposição do material depositado na superfície ser maior nas regiões de clima tipicamente tropical.

A utilização de espécies vegetais para a formação de cobertura é requisito importante para a implantação/manutenção do sistema de plantio direto. A eficácia da semeadura direta está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade, a qualidade e a persistência no solo de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura (Gonçalves & Ceretta, 1999).

Em estudo com plantas de cobertura, Ferrari Neto et al. (2011) obtiveram aumento na produtividade do mamoeiro em sucessão de cultivos, com produção de matéria seca de 4,7 e 14 t ha^{-1} em cultivo solteiro de guandu e milheto, repectivamente, e de 6,2 t ha^{-1} em cultivo consorciado de milheto + guandu. Nos resultados obtidos por Teodoro et al. (2011), avaliando o comportamento e desenvolvimento de leguminosas utilizadas como adubos verdes, crotalaria-juncea, mucuna-cinza, feijão-de-porco e mucuna-preta, foram as leguminosas que se destacaram na produção de matéria seca, o que torna essas espécies promissoras.

Entre as características desejáveis para a seleção de espécies de cobertura, destacam-se a produção de fitomassa e a capacidade de acumular N, pela fixação biológica ou pela absorção do nutriente do solo. Esses atributos, juntamente com a relação C/N dos restos culturais, permitem estimar o potencial das plantas de cobertura em incrementar a oferta de N para as culturas sucessoras (Boer et al., 2007). Quanto maior a relação C/N, mais lenta a taxa de decomposição dos resíduos, sendo, portanto, mais lenta a liberação dos nutrientes acumulados nos restos das culturas (Giacomini et al., 2003).

As plantas de cobertura da família das fabáceaes (leguminosas) são mais utilizadas como adubos verdes devido ao seu potencial de produção de biomassa e sua capacidade de fornecimento de nitrogênio à cultura sucessora (Matheis et al., 2006). Como essas plantas apresentam relação C/N baixa, podem apresentar elevada taxa de decomposição (Teixeira et al., 2009). Porém, esta rápida decomposição, provocada pela relação C/N inferior a 20, é importante na ciclagem de nutrientes (Rosolem et al., 2003). Segundo Oliveira et al. (2002), as leguminosas de primavera/verão geralmente produzem quantidades maiores de fitomassa e, consequentemente, acumulam maiores quantidades de nitrogênio, quando comparadas às leguminosas de outono/inverno.

Na família das poáceas (gramíneas), devido à elevada relação C/N, entre 30 e 40, a permanência no solo é maior, o que pode contribuir para liberação mais lenta de nutrientes (Silva, 2012), para formação de cobertura e melhoria da estrutura do solo, devido ao sistema radicular agressivo e abundante (Pauletti, 1999).

Outro fator decisivo na decomposição do material orgânico das plantas é a sua composição bioquímica. A participação do N e de compostos orgânicos tais como, lignina, celulose e hemicelulose regulam a taxa de decomposição de resíduos vegetais, aumentando ou diminuindo esse processo, com efeito no acúmulo de frações da MOS (Carvalho et al., 2012). As gramíneas, que são ricas em hemicelulose e celulose e com menor concentração de lignina, produzem restos culturais de fácil decomposição, pois a lignina é o principal precursor de compostos aromáticos, favorecendo a formação de substâncias húmicas (Tate III, 1987).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental – clima e solo

A área experimental situa-se na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Campus Unesp, município de Jaboticabal, localizado no Centro-Norte do Estado de São Paulo. As coordenadas do local do experimento são 21º 15’ 22” de latitude Sul e 48º 16’ 42” de longitude Oeste, e a altitude é de 595 metros.

O clima é úmido com pequena deficiência hídrica anual, mesotérmico e com evapotranspiração de verão menor que 48% da evapotranspiração anual, classificado como $B_1rB'_4a'$ de acordo com Thornthwait (1948). A precipitação pluvial média anual é de 1.416 mm e a temperatura média anual é de 22,3 ºC, sendo as médias das máximas e das mínimas de 24,5 ºC e 18,8 ºC, respectivamente, segundo dados da Estação Agroclimatológica da FCAV/Unesp, Campus de Jaboticabal.

O experimento foi instalado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado (Andrioli & Centurion, 1999). A análise química em amostras coletadas em área total, antes da instalação do experimento, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, é apresentada na Tabela 1. Os métodos usados na caracterização química estão descritos em Raij et al. (2001). A granulometria, determinada segundo o método da pipeta (Donagema et al., 2011)

Tabela 1. Atributos químicos[1] do solo da área experimental.

Prof	P resina	MO[1]	pH $CaCl_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	CTC	V	Argila	Silte	Areia
cm	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	----------$mmol_c dm^{-3}$----------						%	----------g kg^{-1}---------		
0-5	32	24	4,5	4,0	14	8	42	68	38	400	70	530
5-10	35	18	4,4	3,0	11	6	42	62	32	400	70	530

[1] MO: matéria orgânica; H+Al: acidez total; CTC: capacidade de troca de cátions; V: índice de saturação por bases.

3.2 Histórico da área

A área onde o experimento foi instalado vem sendo cultivada em sistema plantio direto e sistema convencional desde a safra 1998/99. No ano de 2000, no sistema plantio direto iniciou-se o experimento utilizando plantas de cobertura em pré-safra de milho, e doses de nitrogênio, em ambos os sistemas. Em todos os anos, as plantas de cobertura foram semeadas no início das primeiras chuvas e dessecadas quimicamente próximo aos sessenta dias após a semeadura, sendo, em seguida, semeada a cultura do milho. No ano agrícola 2003/04 não foi possível cultivar plantas de cobertura devido ao atraso no início das chuvas. Durante os quatorze anos do experimento, algumas espécies de cobertura precisaram ser substituídas: a crotalária-juncea e o sorgo apresentaram problemas com doenças e pragas, a braquiária não apresentou resultados satisfatórios e houve falta de sementes de mucuna-preta no mercado local. Os tratamentos referentes às sucessões de plantas de cobertura da área do experimento estão na Tabela 2.

Tabela 2. Plantas de cobertura cultivadas em pré-safra de milho no período compreendido entre 2000/01 a 2014/15.

Safra	Plantas de Cobertura					
2000/01	Braquiária	Crotalária-juncea	Guandu-anão	Milheto	Mucuna-preta	VE[1]
2001/02	Crotalária spectabillis	Crotalária-juncea	Sorgo	Milheto	Mucuna-preta	VE
2002/11	Feijão-de-porco	Crotalária-juncea	Lablab	Milheto	Mucuna-preta	VE
2011/12	Feijão-de-porco	Crotalária-juncea	Lablab	Milheto	Mucuna-cinza	VE
2012/13	Feijão-de-porco	Crotalária-juncea	Lablab	Milheto	Mucuna-cinza	VE
20013/14	Feijão-de-porco	Crotalária-juncea	Lablab	Milheto	Mucuna-cinza	VE
2014/15[2]	Feijão-de-porco	Guandu-anão	Lablab	Milheto	Mucuna-cinza	VE

[1] VE: vegetação espontânea com predominância de plantas daninhas das espécies picão-preto (*Eupatorium ballataefolium*), corda-de-viola (*Ipomoea sp*.), guanxuma (*Sida spinosa*), carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum*), fedegoso (*Senna occidentalis*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e leiteira (*Euphorbia heterophylla).* ** Tempo de utilização das plantas de cobertura: Feijão-de-porco (12 anos), guandu-anão (1 ano), lablab (12 anos), mucuna-cinza (4 anos).

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado com sete tratamentos de sistemas de cultivo como tratamentos principais, nas parcelas: sistema plantio direto com mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) (SPD muc); sistema plantio direto com lablab (*Dolichos lablab*) (SPD lab); sistema plantio direto com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (SPD fei); sistema plantio direto com guandu-anão (*Cajanus cajan*) (SPD gua); sistema plantio direto com milheto (*Pennisetum americanum*) (SPD mil); sistema plantio direto com vegetação espontânea (SPD VE); e sistema convencional (SCV). Os tratamentos secundários, nas subparcelas, são quatro doses de nitrogênio: 0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de N.

As avaliações apresentadas no presente estudo não foram feitas em todas as parcelas, amostrando-se apenas os tratamentos em SPD e SCV adubados com 120 kg ha^{-1} de N, por esta ser a dose recomendada para sistemas de alta resposta e alta produtividade (Raij et al., 1996). No sistema convencional, antes da semeadura, realizou-se aração com arado de disco e gradagem com grade niveladora.

A análise dos dados obtidos, considerando apenas os tratamentos que foram avaliados, foi feita em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. A área total de cada parcela foi de 31,5 m^2 (7m x 4,5m) e a área útil foi de 13,5 m^2 (5m x 2,7m).

3.4 Instalação e condução do experimento na safra 2014/2015

No tratamento com sistema convencional, realizaram-se as operações de preparo do solo em umidade próxima ao estado friável. Antes da semeadura realizou-se aração com arado de disco e duas gradagens com grade niveladora. Os equipamentos utilizados têm as seguintes características: arado de disco reversível com 3 discos de 26 polegadas com 20 cm de profundidade de trabalho e grade niveladora com 32 discos de 18 polegadas e massa de 1.200 kg.

A semeadura das espécies de cobertura foi realizada no dia 05-11-2014, em sistema plantio direto. As plantas de cobertura foram cultivadas sem adubação, controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Utilizou-se o mesmo espaçamento entre sulcos, 0,45 m, para todas as plantas de cobertura e a quantidade de sementes por metro de linha de semeadura foi de 14, 12, 55, 7 e 7 para o guandu-anão, lablab, milheto, feijão-de-porco e mucuna-cinza, respectivamente.

No dia 09-01-2015, quando as plantas se encontravam em florescimento pleno, foram realizadas amostragens da parte aérea e raízes das plantas de cobertura cultivadas.

No dia 23-01-2015, as espécies de cobertura foram dessecadas utilizando o herbicida glyphosate e, em seguida, foi efetuada a semeadura do milho.

Dez dias após a colheita do milho (05-06-2015), amostras de solo foram coletadas para determinação dos índices de agregação do solo e do teor de C orgânico do solo nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, em cada classe de agregados.

3.5 Avaliações:

3.5.1 Produção de matéria seca da parte aérea, concentração de carbono e nitrogênio e análise bromatológica da parte aérea e das raízes das plantas de cobertura

Na amostragem das plantas de cobertura foi utilizado um quadrado metálico de 1 m^2, o qual foi lançado aleatoriamente duas vezes em cada parcela, coletando-se todo o material contido na área delimitada pelo quadrado. O material coletado nos 2 m^2 foi pesado e do total foi obtida uma subamostra de aproximadamente 0,5 kg contendo folhas e haste/caule, que foi lavada e seca a 65-70 ºC, pesada e moída para determinação dos teores de carbono (C), nitrogênio total (N), lignina, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA).

A lavagem da amostra foi feita empregando solução de detergente neutro 1 ml L^{-1} e solução de HCl 10 ml L^{-1}, com enxágues em água destilada após a passagem das amostras pelas soluções de limpeza. A secagem foi feita em estufa de circulação de ar forçada, a 65-70ºC, até peso constante para estimativa da produção de matéria seca (MS). Posteriormente, o material foi moído e utilizado nas determinações de C total e N total, empregando combustão por via seca no analisador elementar LECO® CN 628.

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina foram determinados usando o método sequencial Ankon Fiber Analyzer (Ankon Technology Corporation, Fairport, NY) descrito por Goering e Van Soest (1970) e adaptado por Campos et al. (2004). Para estas análises, foram utilizadas bolsas filtrantes F57. A partir destas determinações foram calculados os teores de celulose e hemicelulose da seguinte maneira:

celulose = FDA – lignina

hemicelulose = FDN - celulose – lignina

Para coleta das amostras de raízes foi utilizado um trado cilíndrico serrilhado, com 10 cm de diâmetro interno e 10 cm de altura. Foram coletadas seis subamostras por parcela, em ambos os lados das plantas, a aproximadamente 2 cm da linha de plantio das espécies de cobertura. O material coletado foi colocado em saco de plástico e levado ao laboratório, onde foi feita a separação das raízes com auxílio de uma pinça. Posteriormente, as raízes foram lavadas com solução de HCl 30 mL L^{-1} e água destilada, e seco em estufa de circulação de ar forçada a 65-70 ºC até atingir peso constante. O material foi moído e usado para análises de C e N total no analisador elementar LECO® CN 628.

A caracterização das plantas de cobertura utilizadas no experimento está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Matéria seca, C, N, hemicelulose, celulose e lignina na parte aérea e raízes das culturas de cobertura e da vegetação espontânea.

Plantas de Cobertura	MS	C	N	C/N	Hemic	Cel	Lig	Lig/N
	t ha^{-1}	----g kg^{-1}----			----------%----------			
				Parte aérea				
Feijão-de-porco	6,9	463	32	14	23	25	7	2
Guandu-anão	5,4	492	28	17	23	30	11	4
Lablab	5,1	456	29	16	20	27	7	2
Mucuna-cinza	5,0	474	45	11	15	25	11	2
Milheto	22,3	456	11	41	27	33	5	4
VE	4,6	444	16	28	31	31	5	3
				Raiz				
Feijão-de-porco	-	600	15	42	21	32	19	13
Guandu-anão	-	655	41	25	24	33	19	5
Lablab	-	660	42	16	22	27	21	5
Mucuna-cinza	-	664	49	14	21	26	25	5
Milheto	-	610	31	22	32	33	15	5
VE	-	645	45	15	31	32	15	3

MS: Massa seca; C: Carbono; N: Nitrogênio; Hemic: Hemicelulose; Lig: Lignina; Cel Celulose; VE: vegetação espontânea-: Dados não avaliados.

3.5.2 Determinação dos índices de agregação e do teor de carbono orgânico nas classes de agregados do solo

A coleta das amostras de solo foi realizada em cada parcela, nas entrelinhas da cultura do milho, após a colheita dos grãos, e em área de mata nativa adjacente (21º 15' 34" de latitude Sul e 48º 16' 52" de longitude Oeste), nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, com duas repetições. As amostras foram coletadas com auxílio de enxadão, sem quebrar os torrões, os quais, posteriormente, foram secos ao ar, desmanchados manualmente e passados por peneiras com malhas de 8 e 4 mm de diâmetro.

Para a avaliação da estabilidade dos agregados via úmida foram utilizados 50 g de agregados que ficaram retidos na peneira de 4 mm. Essas amostras foram previamente umedecidas com álcool, segundo o método da Embrapa (1997). Em seguida, foram colocadas em agitador de oscilação vertical descrito por Yoder (1936), sobre um conjunto de peneiras de 2,00; 0,25 e 0,05 mm de diâmetro de malha, para separação dos agregados em classes de tamanho: macroagregados (diâmetro > 2,00 mm), mesoagregados (diâmetro entre 2,00 e 0,25 mm) e microagregados (diâmetro entre 0,25 e 0,05 mm), conforme procedimento empregado por Costa Junior et al. (2012). Após 15 minutos de oscilação, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio com o auxílio de espátulas e jatos de água aplicados com piceta, e em seguida foram secas a 60°C até atingirem peso constante. A temperatura de secagem das amostras foi realizada abaixo da recomendada (105 ºC), pois a mesma foi utilizada para determinação de carbono.

A partir dos valores obtidos foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme Kemper & Chepil (1965), da seguinte maneira:

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^{n}(wi * xi)$$

$$\text{DMG} = [\sum_{i=1}^{n}(wi * \log(xi) / \sum_{i=1}^{n} wi]$$

sendo que:

wi é massa de agregados da classe i ;

xi é o diâmetro médio da classe i;

Σ wi é a massa total de agregados.

A determinação do C orgânico nas classes dos agregados foi feita nas amostras que ficaram retidas nas peneiras, sendo estas trituradas, passadas em peneiras de 0,25 mm e analisadas por combustão no analisador elementar LECO® CN 628.

Os resultados das análises da mata nativa (Tabela 4) foram utilizados para o cálculo do índice de sensibilidade (IS), conforme descrito por Konda (2015), a partir da fórmula:

$$IS = DMGt/DMGmn$$

Em que:

DMGt é valor do DMG observado no tratamento em questão

DMGmn é o valor do DMG da mata nativa

Tabela 4. Características dos agregados e teor de carbono total na amostra coletada na área de mata próxima ao experimento.

DMG[1]	DMP[2]	% Agregados estáveis em água[3]			Carbono (g kg^{-1})		
		Macro	Meso	Micro	Macro	Meso	Micro
---------- 0-5 cm ----------							
2,99	2,99	99,55	0,36	0,09	36,8	22,7	35,5
---------- 5-10 cm ----------							
2,94	2,97	98,47	1,31	0,22	28,3	17,0	20,5

[1]DMG: Diâmetro médio geométrico; [2]DMP: Diâmetro médio ponderado; [3]Macroagregados, maiores que 2,00 mm; Mesoagregados, maiores que 0,25 mm e menores que 2,00 mm; Microagregados, maiores que 0,05 mm e menores que 0,25 mm.

3.6 Análise estatística

Os efeitos dos sistemas de cultivo do solo nos teores de C orgânico nas classes dos agregados, na agregação e nos índices de agregação foram submetidos às pressuposições da análise de variância (homogeneidade de variância e normalidade dos dados) para realizar a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os sistemas de cultivo, exceto no convencional, a porcentagem de agregados estáveis em água maiores que 0,25 mm (macro e mesoagregados) foi maior do que 90%, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade (Tabelas 5 e 6). Na camada de 0-5 cm (Tabela 5) o cultivo de plantas de cobertura levou a predominância de macroagregados, e na camada de 5-10 cm prevaleceram os mesoagregados. Para Huang et al. (2010) a aplicação de quantidades elevadas de resíduos orgânicos via adubação verde na presença ou ausência de fertilizantes inorgânicos, influencia a maior agregação do solo, com a formação de grande quantidade de macroagregados.

Tabela 5. Porcentagem de agregados estáveis em água na classes de agregados de Latossolo sob diferentes manejos, na camada de 0-5 cm.

Manejo[1]	Agregados estáveis em água[2]		
	Macro	Meso	Micro
	----------%----------		
SPD-Feijão-de-porco	73 a	24 c	3 c
SPD-Guandu-anão	63 a	32 c	4 c
SPD-Lablab	77 a	20 c	4 c
SPD-Mucuna-cinza	54 b	39 b	7 b
SPD-Milheto	73 a	23 c	3 c
SPD-Vegetação espontânea	75 a	21 c	4 c
SCV	36 c	50 a	14 a
	Teste F		
Tratamento	17,01**	12,07**	20,27**
CV(%)	11	21	30

[1]SPD: Sistema plantio direto; SCV: Sistema convencional; [2]Macroagregados, maiores que 2,00 mm; Mesoagregados, maiores que 0,25 mm e menores que 2,00 mm; Microagregados, maiores que 0,05 mm e menores que 0,25 mm. Letras iguais nas linhas, dentro de cada camada de solo, não diferem a 5 % pelo teste de Scott Knott.

A maior porcentagem de agregados estáveis na classe de macroagregados, na camada superficial, nos sistemas com plantas de cobertura (Tabela 5), já foi relatada anteriormente por outros autores (Konda, 2015; Garcia & Rosolem, 2010) e foi explicada pela ausência de revolvimento do solo preconizada pelo sistema de plantio direto, pela manutenção de um considerável aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, e pelo crescimento radicular contínuo propiciado pelo cultivo das plantas de cobertura, o que é fundamental para melhoria e manutenção de uma boa agregação do solo.

As espécies feijão-de-porco, guandu-anão e lablab não apresentaram diferença em relação ao milheto na distribuição de agregados entre as classes de tamanho (Tabela 5). Este resultado contraria a expectativa, pois as gramíneas são consideradas mais eficientes na agregação do solo (Wendling et al., 2005; Garcia & Rosolem, 2010; Coutinho et al., 2010), por apresentarem sistema radicular fasciculado, que é renovado regularmente. Sousa Neto et al. (2008), no entanto, argumentaram que o cultivo por quatro anos fez com os resultados obtidos com o cultivo de espécies diferentes convergissem para efeitos semelhantes. Neste contexto, a sucessão de plantas de cobertura em pré-safra de milho e a longa duração do experimento fariam com que leguminosas e gramíneas se assemelhassem na eficiência de agregação do solo, devido aos 14 anos de acúmulo de resíduos culturais, ação dos sistemas radiculares, ciclos de umedecimento e secagem do solo e não revolvimento do solo.

Tabela 6. Porcentagem de agregados estáveis em água na classes de agregados de Latossolo sob diferentes manejos, na camada de 5-10 cm.

Manejo[1]	Agregados estáveis em água[2]		
	Macro	Meso	Micro
	----------%----------		
SPD-Feijão-de-porco	47 a	48 a	5 b
SPD-Guandu-anão	45 a	50 a	6 b
SPD-Lablab	41 a	52 a	7 b
SPD-Mucuna-cinza	28 a	62 a	10 b
SPD-Milheto	39 a	54 a	7 b
SPD-Vegetação espontânea	38 a	55 a	7 b
SCV	32 a	50 a	18 a
	Teste F		
Tratamento	$1,77^{ns}$	$1,36^{ns}$	5,93**
CV(%)	26	15	42

[1]SPD- Sistema plantio direto; SCV: Sistema convencional; [2]Macroagregados, maiores que 2,00 mm; Mesoagregados, maiores que 0,25 mm e menores que 2,00 mm; Microagregados, maiores que 0,05 mm e menores que 0,25 mm. Letras iguais nas linhas, dentro de cada camada de solo, não diferem a 5 % pelo teste de Scott Knott.

As plantas de cobertura, exceto a mucuna-cinza na camada de 0-5 cm, apresentaram efeitos semelhantes na estabilidade dos agregados em relação a vegetação espontânea (Tabela 5 e 6), o que está de acordo com resultados de Nascimento et al. (2005) e Loss et al. (2015). O consórcio entre espécies que possuem diferentes sistemas radiculares fornece ambiente favorável à formação e manutenção dos agregados do solo,

com destaque para classe dos macroagregados (Loss et al., 2011), como foi obtido na camada de 0-5 cm.

Na camada de 0-5 cm o tratamento com mucuna-cinza apresentou valores de 53% de macroagregados e 39% de mesoagregados, significativamente menores em relação às demais plantas de cobertura, que não diferenciaram entre si para essas classes de agregados (Tabela 5).

Para agregados estáveis na classe de mesoagregados (Tabela 5), o sistema convencional se destacou com maior porcentagem, diferenciando-se dos demais tratamentos. Porém, mesmo com valor maior, o somatório de agregados com mais do que 0,25 mm (macro e mesoagregados) foi de 86%, valor abaixo dos obtidos nos tratamentos com plantas de cobertura, que apresentaram maiores valores de macroagregados. Os macroagregados, por serem estruturas complexas e diversificadas, com grande capacidade de reter energia e matéria adicionada na forma de carbono, representam bom indicador da qualidade física do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011) e, sendo assim, o cultivo das plantas de cobertura está resultando em ganho de qualidade do solo.

Na camada de 0-5 cm foi obtida, no sistema convencional, maior porcentagem de microagregados em relação aos demais cultivos, seguido do sistema com mucuna-cinza, que apresentou maior porcentagem de microagregados que os demais, os quais não diferiram entre si. Na camada de 5-10 cm, os resultados se mantiveram, exceto no que diz respeito à mucuna-cinza, que se igualou aos demais sistemas de cultivo em plantio direto (Tabelas 5 e 6). Isso evidencia que os sistemas não conservacionistas de manejo resultam em desagregação do solo, devido ao revolvimento utilizado durante o preparo do solo, causando destruição mecânica dos agregados. Maiores percentuais de agregados estáveis na classe de meso e microagregados com preparo convencional também foram verificados por Loss et al. (2015). O percentual de microagregados aumenta porque ocorre quebra de macroagregados pela ação dos equipamentos, o que diminui a estabilidade dos macroagregados, tornando-os mais suscetíveis às forças de ruptura quando separados por via úmida (Loss et al., 2014).

Para os valores de DMP e DMG, na camada de 0-5 cm, o plantio convencional diferiu dos demais tratamentos com os menores índices, 1,67 e 1,21, respectivamente, (Tabela 7), o que está associado à maior ocorrência de microagregados (13,8%) neste tratamento. Isso se deve ao efeito da ação dos equipamentos (arado e grade) no

momento do preparo do solo, conforme descrito por Loss et al. (2014) e Loss et al. (2015). No sistema de plantio direto com plantas de cobertura, na camada superficial, a mucuna-cinza apresentou índices significativamente menores, 2,05 para DMP e 1,65 para DMG, entretanto, significativamente maiores do que o sistema convencional. Os maiores valores para os índices DMG e DMP, na camada superficial, para tratamentos com utilização de plantas de cobertura, se devem, segundo Konda et al. (2016), à deposição de material orgânico e aos maiores teores de agentes cimentantes oriundos destes compostos orgânicos. Resultados semelhantes foram relatados por Sousa Neto et al. (2008) para sistema plantio direto com milheto e lablab em pré-safra.

A mucuna-cinza, na camada de 0-5 cm, apresentou percentagens intermediárias para as três classes de agregados (Tabela 5). Isto resultou em valores intermediários de DMG e DMP. O DMG foi 36% maior em relação ao sistema convencional, e 14%, 25%, 24%, 26%, 24% menor em relação aos tratamentos com guandu, vegetação espontânea, feijão-de-porco, lablab e milheto, respectivamente. Os valores de DMP foram 23% maiores comprados ao sistema convencional, e 9%, 18%, 17%, 19% e 17% menores em relação aos tratamentos com guandu, vegetação espontânea, feijão-de-porco, lablab e milheto, respectivamente.

Tabela 7. Índices de agregação do solo, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), de Latossolo sob diferentes manejos.

Manejo[1]	DMP		DMG	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
	---------- mm ----------			
SPD feijão-de-porco	2,46 a	1,95 a	2,16 a	1,60 a
SPD guandu	2,27 a	1,90 a	1,92 a	1,56 a
SPD lablab	2,53 a	1,82 a	2,22 a	1,45 a
SPD mucuna-cinza	2,05 b	1,55 a	1,65 b	1,22 b
SPD milheto	2,47 a	1,78 a	2,17 a	1,43 a
SPD vegetação espontânea	2,50 a	1,77 a	2,19 a	1,44 a
SCV	1,67 c	1,55 a	1,21 c	1,10 b
	Teste F			
Tratamento	18,79**	2,20^{ns}	17,10**	3,77*
CV (%)	6	12	9	13

[1]: SPD: Sistema plantio direto; SCV: Sistema convencional. Letras iguais nas colunas não diferem a 5% pelo teste de Scott Knott.

Na camada de 5-10 cm, a mucuna-cinza apresentou o menor valor de DMG entre os tratamentos com plantas de cobertura, consequência da grande diferença na

quantidade de macro e mesoagregados neste tratamento, sendo que a quantidade da classe intermediária foi aproximadamente 120% maior do que a classe dos agregados maiores que 2,0 mm.

Os maiores valores absolutos para o índice de sensibilidade (Tabela 8) foram obtidos nos tratamentos com sistema plantio direto, em ambas as camadas avaliadas. O índice de sensibilidade é um indicador da influência dos tipos de coberturas vegetais e das formas de manejo na estabilidade dos agregados do solo (Fontana et al., 2010) e, quanto maior o valor deste índice, mais próximo o solo estará da sua condição natural (Bolinder et al., 1999). Deste modo, os manejos com plantas de cobertura estão mais próximos da mata nativa do que o sistema convencional. Em seu estudo, Konda et al. (2016) compararam os índices de sensibilidades entre áreas com sistema plantio direto utilizando plantas de cobertura com sistema convencional, e verificaram que o sistema não conservacionista causou maior degradação dos atributos físicos do solo.

Tabela 8. Índice de sensibilidade de Latossolo sob diferentes manejos, nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm.

Manejo[1]	Índice de sensibilidade	
	0-5 cm	5-10 cm
SPD feijão-de-porco	0,72	0,54
SPD guandu	0,64	0,53
SPD lablab	0,74	0,49
SPD mucuna-cinza	0,55	0,41
SPD milheto	0,72	0,48
SPD vegetação espontânea	0,73	0,49
SCV	0,40	0,37

[1]:SPD: sistema plantio direto; SCV sistema convencional.

No sistema convencional, na camada de 0-5 cm, houve menores teores de carbono nas classes de agregados estáveis, diferenciando dos demais tratamentos, que incluíram cultivo de plantas de cobertura em plantio direto. O sistema convencional só não diferiu do cultivo de lablab no teor de carbono nos mesoagregados (Tabela 9). A ocorrência de menor teor de carbono no sistema convencional em comparação com plantio direto tem sido constatada por outros autores (Bayer et al., 2004; Konda, 2015). Costa Junior et al. (2012) avaliaram agregação do solo e teor de carbono em classes de agregados em diferentes sistemas de manejo, e verificaram que os agregados (macro, meso e microagregados) do solo, na camada de 0-20 cm, sob vegetação nativa e plantio

direto, apresentaram teores de carbono maiores do que o do solo sob sistema convencional. O revolvimento do solo pelas operações de preparo neste sistema causa efeito negativo na agregação do solo, fraciona agregados maiores em agregados menores, expondo a matéria orgânica antes protegida no interior dos agregados, causando maior oxidação da matéria orgânica por microrganismos devido ao maior contato com o solo (Andrioli, 2004).

Tabela 9. Teores de carbono em classes de agregados de Latossolo sob diferentes manejos.

Manejo[1]	Classes de Agregados do solo[2]		
	Macro	Meso	Micro
	----------Carbono (g kg^{-1}) - 0-5 cm----------		
SPD-Feijão-porco	19,9Aa	14,7Ba	11,7Ca
SPD-Guandu-anão	21,5Aa	15,7Ba	10,5Ca
SPD-Lablab	18,2Ab	13,7Bb	10,9Ca
SPD-Mucuna-cinza	20,8Aa	15,4Ba	10,7Ca
SPD-Milheto	19,5Aa	16,3Ba	11,5Ca
SPD-Vegetação espontânea	16,9Ab	14,7Ba	11,3Ca
SCV	12,4Ac	12,1Ab	7,1Bb
	----------Carbono (g kg^{-1}) - 5-10 cm----------		
SPD-Feijão-porco	17,5Aa	13,7Ba	10,8Ca
SPD-Guandu-anão	16,5Aa	13,6Ba	9,6Ca
SPD-Lablab	14,5Ab	12,3Ba	9,6Ca
SPD-Mucuna-cinza	14,5Ab	12,6Ba	9,1Ca
SPD-Milheto	16,7Aa	14,1Ba	9,1Ca
SPD-Vegetação espontânea	14,1Ab	12,6Ba	9,6Ca
SCV	11,7Ac	12,7Aa	6,2Bb
	Teste F		
	0-5 cm	5-10 cm	
Manejo	15,20**	8,00**	
Classes de agregado	213,79**	265,56**	
Interação	3,13**	3,80**	
CV (%) Manejo	11	12	
CV (%) Classes de agregado	10	8	

[1]SPD- Sistema plantio direto; SCV: Sistema convencional; [2]Macroagregados, maiores que 2,00 mm; Mesoagregados, maiores que 0,25 mm e menores que 2,00 mm; Microagregados, maiores que 0,05 mm e menores que 0,25 mm; [3]CV: coeficiente de variação. Letras iguais, minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro de cada camada de solo, não diferem a 5 % pelo teste de Scott Knott.

Entre os tratamentos com plantas de cobertura, o lablab e a vegetação espontânea apresentaram menores teores de C na classe dos macroagregados, nas profundidades avaliadas, diferindo da mucuna-cinza, feijão-de-porco e milheto. Ao longo dos 14 anos do experimento, tem-se verificado que o lablab e a vegetação

espontânea produziram menores quantidades de fitomassa (Bertim et al., 2005; Moda, 2009; Bettiol, 2014), o que deve ter resultado no menor acúmulo de carbono orgânico.

Apesar de o teor de carbono ser menor nos sistemas com lablab e vegetação espontânea, (Tabela 9), isso não interferiu nos índices de agregação DMP e DMG (Tabela 7). Wohlenberg et al. (2004), comparando cinco sistemas de sucessão de culturas, não observaram correlação significativa entre DMP e conteúdo de carbono orgânico, e atribuíram esse fato à pequena amplitude de variação do conteúdo de carbono orgânico e a ação de outros fatores na agregação do solo, além do carbono orgânico, como configuração de raízes, quantidade e qualidade do material orgânico sintetizado e ciclos de umedecimento e secamento do solo.

O maior acúmulo de carbono na classe de macroagregados, em comparação com as outras classes, pode ser associado aos maiores valores dos índices DMG e DMP. Os sistemas conservacionistas, de modo geral, apresentam maiores teores de carbono orgânico, e isso influencia positivamente os índices DMP, DMG e a quantidade de macroagregados (Konda, 2015). Como os processos de estabilização dos microagregados são relativamente permanentes, as alterações causadas pela adição de carbono ocorrem predominantemente em macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). O aporte de carbono ao solo, via raízes, é fundamental para formação dos macroagregados (Salton et al., 2008), que ocorre devido a ação mecânica decorrente do crescimento e funcionamentos das raízes, microrganismos e fauna do solo, proporcionando o agrupamento dos microagregados para formação dos agregados maiores (Haynes & Beare, 1996).

O teor de carbono em todos os manejos avaliados decresceu conforme houve diminuição do tamanho dos agregados. Mesmo em menor quantidade que a classe dos meso e macroagregados, os microagregados protegem mais o carbono contra a decomposição e, consequentemente, podem ser uma das primeiras classes a acumular esse elemento, com posterior formação de agregados maiores e oclusão de carbono (Costa Junior et al., 2012). A matéria orgânica inicialmente protegida nos microagregados é adsorvida aos minerais de argila, com subsequente papel na formação dos meso e macroagregados (Anders et al., 2010).

O cultivo de mucuna-cinza apresentou a maior diminuição do teor de carbono na classe dos macroagregados (Tabela 9) entre as camadas, ou seja, decréscimo de 6,3 g dm^{-3} de carbono orgânico (30%). Bettiol (2014) obteve, no mesmo experimento,

maiores teores de C na camada de 0-5 cm com cultivo de mucuna. A mucuna-cinza apresentou, na parte aérea e nas raízes, as maiores concentrações de N e os maiores teores de lignina entre as espécies de cobertura avaliadas (Tabela 3), dois componentes essenciais para a formação de MO. Considerando que a parte aérea dessecada se decompõe na superfície e a maior parte das raízes fica concentrada nos primeiros centímetros do solo, o acúmulo de C se dá nesta região e tende a diminuir rapidamente em função da profundidade.

O cultivo de milheto não apresentou diferença nos teores de carbono (Tabela 9), em relação às leguminosas feijão-de-porco e guandu, nas classes de macro e mesoagregados, apesar das diferenças na composição bioquímica das três espécies apresentada na Tabela 3. A composição bioquímica das espécies regula a taxa de decomposição dos resíduos vegetais, com efeito no acúmulo das frações da MOS (Carvalho et al., 2012). O milheto apresentou a maior relação C/N (41) entre as plantas avaliadas, o que sugere que a ocorrência de decomposição mais lenta (Silva et al., 2012), limitada pela falta de N no resíduo e no solo. Contudo, como a concentração de lignina na parte aérea do milheto foi de 5% e, de acordo com Carvalho et al. (2008), baixos teores de lignina resultam em decomposição acelerada, se não houver limitação de N no solo a taxa de decomposição do milheto pode ser alta, o que resulta em menor acúmulo de C, apesar da maior produção de matéria seca em relação às outras espécies (Tabela 4). Andrade et al. (2009) com objetivo de determinar o efeito de plantas de cobertura na qualidade física do solo, não verificaram diferença estatística entre o guandu e o milheto para o conteúdo de matéria orgânica do solo.

5. CONCLUSÕES

Os índices de agregação no plantio direto com plantas de cobertura foram maiores do que no sistema convencional, na camada de 0-5 cm e o índice de sensibilidade demonstrou que o uso do sistema plantio direto por quatorze anos melhorou a estabilidade dos agregados do solo.

No plantio direto, o cultivo de plantas de cobertura resultou em distribuição de agregados por classe de tamanho semelhante à da vegetação espontânea, exceto a mucuna-cinza, que foi a espécie menos eficiente na agregação do solo, na camada de 0-5 cm.

Os índices de agregação em solo cultivado com as leguminosas feijão-de-porco, lablab e guandu-anão em pré-safra, em áreas mantidas sob o mesmo manejo por muitos anos, são semelhantes aos obtidos com cultivo de milheto.

O teor de C orgânico decresceu com a diminuição do tamanho dos agregados em todos os sistemas de cultivo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

ANDERS, M.M.; BECK, P.A.; WATKINS, B.K.; GUNTER, S.A.; LUSBY, K.S.; HUBBELL, D.S. Soil aggregates and their associated carbon and nitrogen content in winter annual pastures. **Soil Water Management Conservation**, v. 74, p. 1339-1347, 2010.

ANDERSON, D.W. Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A., eds**. Soils and global change**. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.165-175.

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

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 1999. p. 32.

ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78f. Tese (Livre-Docente) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.D.; CRUSCIOL, C.A.C. Influência da época de semeadura no comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão na região de Selveria, MS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p. 1967-1976, 2000.

BARRETO, R.C.; MADARI, B.E.; MADDOCK, J.E.L.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO_2 in the surface layer of a Rhodic

Ferralsol in Southern Brazil **Agriculture, Ecosystem and Environent**, v. 132, p. 243-251, 2009.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de suelos**. Uteha, 1973.

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

BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, p. 379-386, 2005.

BETTIOL, A.C.T**. Efeitos de plantas de cobertura em atributos químicos do solo.** 2014. 40f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L; CARGNELITTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 37-45, 1999.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.S.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 121-126, 1995.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 383-391, 1999.

CAMPOS, F.P.; NUSSIO, C.M.B.; NUSSIO, L.G. **Método de análise de alimentos**. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 2004.

CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio com gramíneas. **Bioscience Journal,** v. 28, p. 420-431, 2012.

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

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; SOUSA JUNIOR, J.G.A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, 2008.

CARVALHO, A.M.; COELHO, M.C.; DANTAS, R.A.; FONSECA, O.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C.C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna**Crop and Pasture Science,** v. 63, p.1075-1081, 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-38, 1998.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, p. 575-580, 2005.

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

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo**: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.), conduzidas em rotação. 1995. 138f. Tese (Livre docência em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, SP, 1995.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistema agrícola no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 1311-1321, 2012.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; JUNIOR, D.J.R.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 100-105, 2010.

DENEF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 469-479, 2005.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks–a meta-analysis. **Global Change Biology**, vol. 17, p. 1658-1670, 2011.

DORAN J.W.; PARKIN T.B. Defining and assessing soil quality**.** In: DORAN J.W.; COLEMAN D.C.; BEZDICEK D.F.; STEWART B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special Publication 35, ASA-SSSA).

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, v. 18, p. 64-73, 1967.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 204 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M.D. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 978-985, 2011.

FONTANA, A.; DE BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.;LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** v.5, p.291-297, 2010.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p. 1489-1498, 2010.

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

GOERING, K.H.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis**: apparatus, reagents, procedures and some applications. Washington: ARS-SDA, 1970.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J.A.; OADES, J.M. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A., eds. **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p.245-266.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

GROHMANN, F.; ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da terra-roxa-legítima. **Bragantia**, v. 20, p. 1203-1209, 1961.

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. **Structure and organic matter storage in agricultural soils**, p. 213-262, 1996.

HUANG, L.; WANG, C.Y.; TAN, W.F.; HU, H.Q.; CAI, C.F.; WANG, M.K. Distribution of organic matter in aggregates of eroded Ultisols, Central China. **Soil Tillage Research,**v. 108, p. 59-67, 2010.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. **Methods of Soil Analysis.** Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. p. 499-510, 1965.

KONDA, A.H. **Agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de cultivo.** 2015. 37 f. Trabalho de graduação Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

KONDA, A.; ANDRIOLI, I.; DAVALO, M. Agregação de um Latossolo Vermelho após 27 anos sob sistema de cultivo. In: VII Congresso Ibérico das Ciências do Solo (CICS 16) e VI Congresso nacional de Rega e Drenagem, 9, 2016, Beja, Portugal, VII Congresso Ibérico das Ciências do Solo (CICS 16) e VI Congresso nacional de Rega e Drenagem, 2016.

LEVIEN, R.; GAMERO, C.A.; FURLANI, C.E.A. Preparo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 23p. 277-289, 2003.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; FERREIRA, E.P.; DA SILVA, E.M.R.; BEUTLER, S. J. Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 523-528, 2009.

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

LOSS, A.; COSTA, E.M.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de La Facultad de Agronomía**, v. 113, p. 1-8, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.S.; KOUCHER, L.P.; OLIVEIRA, R.A.; KURTZ, C.; LOVATO, P.E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.39, p.1212-1224, 2015.

MATHEIS, H.A.S.M.; AZEVEDO, F.A.; FILHO VICTORIA, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja,** v. 27, p.101-110, 2006.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 579-584, 1990.

MODA, L.R. **Plantas de cobertura em pré-safra e aplicação de nitrogênio na cultura do milho.** 2009. 67f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D.; SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.825-831, 2005.

NOELLEMEYER, E.; FRANK, F.; ALVAREZ, C.; MORAZZO, G.; QUIROGA, A. Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 179-190, 2008.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.,V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds) **Tópicos em Ciência do Solo,** v.2, p.393-486, 2002.

PALADINI, F.L.S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 15, p. 135-140, 1991.

PAULETTI, V. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. **Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto**, v. 3, p. 56-66, 1999.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, p. 713-720, 2002.

POEPLAU, C.; DON, A.; VESTERDAL, L.; LEIFELD, J.; VAN WESEMAEL, B. A. S.; SCHUMACHER, J.; GENSIOR, A. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone–carbon response functions as a model approach. **Global Change Biology**, v. 17, p. 2415-2427, 2011.

RACZKOWSKI, C.W.; MUELLER, J.P.; BUSSCHER, W.J.; BELL, M.C.; MC GRAW, M.L. Soil physical properties of agricultural systems in a large scale study. **Soil Tillage Research,** v. 119, p. 50-59, 2012.

RAIJ, B van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

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

SANTOS, I.L.; CAIXETA, C.F.; SOUSA, A.A.T.C.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.; CARVALHO, A.M. Cover Plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fraction in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v 38, p. 1874-1881, 2014.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivos e de manejo de solo. **Ciência Rural,** v. 33, p. 477 - 486, 2003.

SILVA, I.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, D.M.N. **Adubação verde com leguminosas herbáceas perenes no Médio Vale do Jequitinhonha.** 2012. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes no limbo foliar de guandu e estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.133-138, 2005.

SOUSA NETO, E.L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 43, p. 255-260, 2008.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry:** genesis, composition, reactions. John Wiley & Sons, 1994.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.5, p.121-127, 2006.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C.T.M.; OLIVEIRA, J.F., ALMEIDA, E.; FÁTIMA GUIMARÃES, M. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47 p. 436-441, 2012.

TATE III, R. L. Humic and fulvic acids: formation and decomposition. **Soil organic matter: biological and ecological effects.** New York: John Wiley & Sons. 1987. p. 147-164.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto+

crotalária no plantio direto do feijoeiro milheto+ crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy,** v. 31, p. 647-653, 2009.

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA, D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.635- 643, 2011.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TISDALL, J.M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and soil**, v. 159, p. 115-121, 1994.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

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.

WATANABE, S.H.; TORMENA, C.A.; ARAUJO, M.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PINTRO, J.C.; SARAIVA DA COSTA, A.C.; MUNIZ, A.S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca**. Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1255-1264, 2008.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.D.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Aggregation dynamics of a sandy soil under five cropping systems in rotation and in succession. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy,** v. 28, p. 337-351, 1936