

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

KATIELY ALINE ANSCHAU

**PROPRIEDADES FÍSICAS, FRACIONAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA NO INVERNO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2018

KATIELY ALINE ANSCHAU

**PROPRIEDADES FÍSICAS, FRACIONAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA NO INVERNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dr^a. Edleusa Pereira Seidel

Coorientador: Dr. Jean Sérgio Rosset

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Anschau, Katiely Aline
Propriedades físicas, fracionamento da matéria orgânica do solo e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura no inverno / Katiely Aline Anschau; orientador(a), Edleusa Pereira Seidel; coorientador(a), Jean Sérgio Rosset, 2018.
84 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Agronomia Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

1. Adubos verdes. 2. Estabilidade de agregados.
3. Substâncias húmicas . I. Seidel, Edleusa Pereira.
II. Rosset, Jean Sérgio. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
 Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
 Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
 Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
 Marechal Cândido Rondon - PR.



KATIELY ALINE ANSCHAU

Propriedades físicas, fracionamento da matéria orgânica do solo e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura no inverno

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Edleusa Pereira Seidel

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
 (UNIOESTE)

Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
 (UNIOESTE)

Laercio Augusto Pivetta

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Jean Sérgio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Marechal Cândido Rondon, 23 de fevereiro de 2018

“Aos meus pais Roque e Salete Anschau, base fundamental da minha vida, que me deram seu amor em todos os momentos, transmitiram valores, conhecimento e sabedoria permitindo ser o que eu sou e fazendo orgulhar-me de chamá-los pai e mãe. ”

“Ao meu esposo amado Daniel Paulo Deimling, por toda dedicação e amor, e por sempre me apoiar em minhas escolhas. ”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por estar presente em todos os momentos, sempre iluminando e guiando os meus passos, me dando forças para enfrentar tudo o que fosse preciso.

À minha família, em especial aos meus pais Roque Anschau e Salete Anschau, que nunca mediram esforços perante as dificuldades, e que sempre estiveram a meu lado incentivando-me a buscar os meus sonhos, obrigada. Amo vocês!!

Ao meu esposo, amigo e companheiro de vida Daniel Paulo Deimling, pelo amor, carinho, compreensão em todos os momentos. A cada dia mais eu sei que fiz a melhor escolha. Amo você, sempre mais!!

A professora e orientadora Edleusa Pereira Seidel, pela orientação, confiança, paciência, dedicação e respeito. Muito obrigado pelas cobranças e ensinamentos, dessa forma, contribuindo de maneira imprescindível na minha vida profissional.

Ao coorientador Jean Sérgio Rosset pela imensurável ajuda durante todo o mestrado. Muito obrigado pela orientação, paciência, sinceridade, cobrança e respeito que teve por mim. Muito obrigado por sempre estar disposto em ajudar cientificamente com correções, sugestões e críticas. Tudo isso ajudou no processo de evolução profissional e pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE e a todos os professores do programa, pela oportunidade de realização deste curso, pelos ensinamentos, conselhos, amizade, críticas e sugestões. Foram muito importantes para o desenvolvimento desse trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

A professora Maria do Carmo Lanna por disponibilizar o laboratório de Fertilidade de Solo para realização de análises, e ao Jucenei Fernando Frandoloso, pelas constantes ajudas e conselhos no trabalho.

As secretárias do PPGA da UNIOESTE, pelo comprometimento, atenção e auxílio.

Agradeço a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!

“ Protegerás o solo sagrado e o
delegarás sadio as gerações futuras. ”

(Glauco Olinger)

BIOGRAFICA

Katiely Aline Anschau, nascida em 03 de maio de 1993, em Marechal Cândido Rondon, estado do Paraná, filho de Roque Anschau e Salete Anschau. No primeiro semestre de 2011, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon, atuando como bolsista de iniciação científica no ano de 2013 e de extensão rural em agroecologia no ano de 2014 graduando-se em 2015. Em março de 2016, ingressou no Mestrado do Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon.

RESUMO

ANSCHAU, K. A. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2018. **Propriedades físicas, fracionamento da matéria orgânica do solo e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno.** Orientadora: Edleusa Pereira Seidel. Coorientador: Jean Sérgio Rosset.

Os sistemas de produção agrícola têm como componente fundamental o solo, sendo necessário o uso de práticas que promovam a sustentabilidade do sistema, proporcionando a conservação dos recursos naturais sem afetar negativamente a produção das áreas agrícolas. O presente trabalho teve como objetivos: avaliar a produtividade de biomassa seca de plantas de cobertura no inverno em monocultivo e consorciadas, e seus efeitos nas propriedades físicas do solo (macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), resistência do solo a penetração (Rp) e estabilidade de agregados) após o cultivo das plantas de cobertura e da soja em sucessão; e nas frações químicas da matéria orgânica do solo (MOS) (ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU)) após plantas de cobertura em diferentes camadas e; avaliar a produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura cultivadas no inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: aveia preta, aveia preta + nabo forrageiro, nabo forrageiro, ervilha forrageira, aveia preta + ervilha forrageira e a testemunha (pousio); sendo posteriormente a soja semeada sobre a palhada dessas plantas de cobertura. As coletas de solo foram realizadas nas camadas de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m e 0,0 - 0,20 - 0,20 - 0,40 m. A utilização de consórcio entre nabo forrageiro + aveia, ervilha forrageira + aveia promoveu maior aporte de biomassa seca ao solo, promovendo melhorias na Ma e Rp. As plantas de cobertura, devido ao pequeno tempo de implantação não proporcionaram modificações na estabilidade de agregados e nas frações estáveis da MOS. O rendimento da soja foi de 14% quando cultivada sobre palhada de plantas de cobertura. Além de proporcionar aumento na produtividade o cultivo da soja após palhada das plantas de cobertura houve melhoria nas propriedades físicas do solo, demonstrando sua importância para manutenção do sistema de semeadura direta.

Palavras-chave: Adubos verdes; Biomassa; estabilidade de agregados, *Glicine max* L.

ABSTRACT

ANSCHAU, Katiely A. State University of West Paraná, February 2018. **Physical properties, soil organic matter fractionation and soybean yield in succession to winter cover crops**. Advisor: Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisor: Jean Sérgio Rosset.

The agricultural production systems have as fundamental component the soil, being necessary the use of practices that promote the sustainability of the system, providing the conservation of the natural resources without adversely affecting the production of the agricultural areas. The objective of this study was to evaluate the biomass productivity of winter cover crops in monoculture and intercropping, and their effects on soil physical properties (macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt), soil density soil (Ds), soil penetration resistance (Rp) and stability of aggregates) after the cultivation of cover crops and soybean in succession; (AF), humic acids (HH) and humin (HU)) after covering plants in different layers and; to evaluate soybean yield in succession to cover crops grown in the winter. The experimental design was a randomized complete block design with six treatments and four replications. The treatments used were: black oat, black oat + forage turnip, forage turnip, forage pea, black oat + forage pea and control (fallow); being the soybeans later sown on the straw of these hedge plants. Soil samples were collected at 0 - 0.10; 0.10 - 0.20 and 0.20 - 0.30 and 0.30 - 0.40 m and 0.0 - 0.20 - 0.20 - 0.40 m. The use of a consortium between forage turnip + oats and forage pea + oats promoted a greater contribution of biomass to the soil, promoting improvements in Ma and Rp. Coverage plants, due to the short time of implantation, did not provide changes in the stability of aggregates and stable fractions of MOS. For cultivation of soybeans cultivated after the cover crops there was an increase in productivity and improvement in Ma, Ds, Rp and DMP, showing that the use of green fertilizers brings benefits to the cultivation system.

Keywords: Green fertilizers; Biomass; stability of aggregates, *Glicine max L.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERÊNCIAS	6
3 CAPITULO 1: PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA NO INVERNO.....	11
3.1 RESUMO.....	11
3.2 ABSTRACT.....	12
3.3 INTRODUÇÃO	12
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	15
3.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados	16
3.4.3 Análises estatísticas.....	19
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
3.6 CONCLUSÕES	26
3.7 REFERÊNCIAS.....	27
4 CAPITULO 2: FRAÇÕES QUÍMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	32
4.1 RESUMO.....	32
4.2 ABSTRACT.....	32
4.3 INTRODUÇÃO	33
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	57
4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	57
4.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados	57
4.4.3 Análises estatísticas.....	60
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38

4.6 CONCLUSÕES	46
4.7 REFERÊNCIAS.....	46
5. CAPITULO 3 PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	52
5.1 RESUMO.....	52
5.2 ABSTRACT.....	52
5.3 INTRODUÇÃO	53
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	55
5.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	55
5.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados	55
5.4.3 Análises estatísticas.....	58
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.6 CONCLUSÕES	66
5.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
6 CONCLUSÕES GERAIS	71
7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	72

1 INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os cereais cultivados no mundo, a soja (*Glycine max* L.) destaca-se como uma das culturas de maior interesse econômico, devido à demanda mundial de óleos vegetais, pela quantidade de proteínas disponibilizadas pela mesma, principalmente na forma de farelo, além das inúmeras aplicações industriais da cultura (MOTTA et al., 2002). De acordo com dados da CONAB, no Brasil há um crescimento na área plantada com a cultura da soja de aproximadamente 2%, comparado com o plantio da safra anterior (2015/16), passando de 33.251,9 para 33.914,9 mil ha cultivados, sendo que no Paraná a produtividade atingiu rendimento de 3.731 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Mesmo com esse expressivo crescimento da área cultivada, ainda se observa muitas práticas de manejo inadequadas, principalmente devido aos intensos sistemas de cultivo (MATIAS et al., 2012), que causam degradação dos recursos naturais e levam a redução da produtividade das culturas, ou até mesmo a inviabilidade de produção em algumas áreas. Essas constatações demonstram a importância da realização de um manejo consciente, que vise não só a produção, mas também a sustentabilidade do sistema solo-planta (FERREIRA; TAVARES; FERREIRA, 2010; LOSS et al., 2011).

A adoção de sistemas de manejo que visem à sustentabilidade, tornam-se cada dia mais essenciais para que se mantenha a qualidade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, melhorando a estrutura física do ambiente edáfico, aumentando a infiltração de água no solo e aeração, sustentação do crescimento vegetal; e, conseqüentemente melhorando o rendimento das culturas e a qualidade do solo (SANCHEZ et al., 2014).

Todo sistema de produção agrícola tem como componente principal o solo, e o sucesso, ou não, na produção das culturas comerciais está relacionado à uma boa relação entre planta e solo (VITTI; TREVISAN, 2000). A qualidade do solo está relacionada com sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo o bem-estar de plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994).

Quando se trata de manejo conservacionista uma das práticas mais importantes é o preparo do solo, o qual está diretamente ligado com sua conservação e quando feito de maneira

adequada e consciente, garante melhor produtividade das culturas comerciais e garantia da preservação dos recursos naturais (CRUZ et al., 2011).

A adoção de práticas conservacionistas, como por exemplo, o sistema semeadura direta (SSD) e o uso de plantas de cobertura, que auxiliam no controle da erosão, na redução da degradação do solo, e ainda são capazes de promover condições melhores nas propriedades físicas e químicas do solo, são o caminho para a realização de um manejo adequado do solo. Estas práticas visam o pleno desenvolvimento da cultura sucessora e são indispensáveis para o sistema de cultivo tornar-se sustentável (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

O sistema de semeadura direta (SSD) destaca-se dentre as práticas conservacionistas, e por meio dele é possível à redução da degradação do solo, devido ao revolvimento mínimo e também por manter o solo sempre com cobertura vegetal, promovendo melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo principalmente devido ao maior acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS) (MENTGES et al., 2010), o que garante melhor produtividade da cultura de interesse.

Devido aos benefícios proporcionados por esse sistema de cultivo, como redução de custos de produção, manutenção da umidade do solo, ciclagem de nutrientes, preservação do meio ambiente, melhorias significativas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, entre outros (ANGHINONI, 2007), ao longo dos anos de cultivo esse sistema expandiu-se de forma rápida no país (MELO JÚNIOR; CAMARGO; WENDLING, 2011).

Apesar disso, a consolidação e eficácia do SSD necessita de três pilares básicos: revolvimento mínimo do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo, que pode ser tanto com resíduos vegetais ou adubos verdes (BORGES; FREITAS; MATEUS, 2013). É importante ressaltar que a porcentagem de cobertura, persistência dos resíduos sobre a superfície do solo e a quantidade de resíduos depositados garantem a qualidade do sistema (FABIAN, 2009).

Com o intuito de eliminar a necessidade de mobilização do solo, preservando o SSD e os benefícios trazidos pelo sistema, pode-se fazer uso de plantas de cobertura que favorece sua consolidação e também proporciona a rotação de culturas, bem como são capazes de auxiliar na redução da densidade do solo nas camadas superficiais, principalmente, por meio da descompactação biológica promovida pela diversidade de sistemas radiculares (MUZILLI, 2006). Além disso, os resíduos das culturas de cobertura vão compor a principal fonte de

carbono orgânico total (COT) no solo, e o manejo dado ao ambiente edáfico é o fator determinante no estoque de carbono (C) orgânico (URQUIAGA et al., 2005).

As plantas de cobertura apresentam diferentes características, dentre elas destaca-se a relação carbono/nitrogênio (C/N) que tem influência direta sobre a decomposição dos resíduos deixados sob o solo. As plantas da família *Poaceae*, como exemplo a aveia preta, apresentam relação C/N elevada o que garante a permanência dos resíduos vegetais por mais tempo no solo, já as plantas das famílias *Fabaceae* e *Brassicaceae* apresentam menor persistência dos resíduos vegetais sobre o solo, devido à baixa relação C/N (SILVA et al., 2006).

Apesar dessa vantagem, as *Poaceae* podem causar imobilização de alguns nutrientes, especialmente o N presente no solo, o que pode afetar negativamente o cultivo subsequente (KRAMBERGER et al., 2009). Segundo afirmam Boddey et al. (2010), para minimizar esse efeito é possível fazer uso do consórcio de plantas da família das *Poaceae* e *Fabaceae* ou *Brassicaceae*.

O uso de sistemas consorciados com diferentes espécies pode propiciar a formação de uma quantidade de resíduos vegetais significativos, aumentando o rendimento das culturas de grãos semeadas em sucessão, e resultando em benefícios para o sistema semeadura direta e para o solo como um todo (SILVA et al., 2007). O consórcio tende a proporcionar maior equilíbrio na liberação de nutrientes pela decomposição rápida das *Fabaceae* e/ou *Brassicaceae*, sem afetar a cobertura do solo, pois a espécie *Poaceae* permanecerá por mais tempo sobre o solo devido a diferença na taxa de decomposição de *Poaceae* e *Fabaceae*, mas em alguns casos, devido as flutuações climáticas de cada local pode ocorrer divergências e essa afirmação nem sempre se observa (KLIEMANN; SILVEIRA, BRAZ, 2006), por isso é de grande importância estudos relacionados a essa questão.

Quando se trata de manejo do solo é importante ressaltar que todas as propriedades físicas são afetadas pelas diferentes práticas de manejo, e algumas são utilizadas como indicadores de qualidade física do solo (QFS), destacando-se entre elas: a resistência a penetração, densidade e porosidade do solo (CARNEIRO et al., 2009; PACHECO; CANTALICE, 2011), e a estabilidade de agregados (SINGER; EWING, 2000).

O preparo convencional do solo, que envolve o revolvimento do mesmo, rompe os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da MOS, refletindo-se negativamente na estabilidade estrutural do solo (BERTOL et al., 2004). Diferente do sistema convencional, os preparos conservacionistas, como o SSD, mantêm os resíduos vegetais na

superfície do solo, além de proporcionarem constante aporte da MOS, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico (LAL; GREENLAND, 1979; CASTRO FILHO; MUZILLI, PADANOSCHI, 1998).

Iwata et al. (2010) afirmam que a MOS, ou melhor, seu teor no solo, é o atributo que melhor representa a qualidade do solo, devido a sua elevada tendência a sofrer alteração de acordo com as práticas de manejo realizadas. A MOS atua em mecanismos que permitem a manutenção da capacidade produtiva e também da conservação do solo (DEMATTE et al., 2011).

A MOS é um material bastante heterogêneo, e suas frações lábeis e estáveis, respondem de forma diferenciada ao manejo do solo e as mudanças no uso da terra (KELLEHER; SIMPSON, SIMPSON, 2006). A parte lábil ou instável da MOS possui alta taxa de decomposição e por esse motivo permanece por curtos períodos no solo, sendo considerada importante fonte de C ao solo, devido à rápida decomposição (VON LÜTZOW et al., 2007). Já a fração estável da MOS, também conhecida como não-lábil ou fração humificada, tem um tempo de permanência no solo que pode chegar a centenas de anos, e por esse motivo atua sobre os atributos físicos e químicos do solo (FIGUEIREDO; RESCK; CARNEIRO, 2010).

De acordo com Canellas et al. (2003), a formação das substâncias húmicas é caracterizada por um processo complexo baseado na síntese dos produtos da mineralização dos compostos orgânicos que são aportados ao solo. Dentre as substâncias húmicas, a parte considerada solúvel em meio alcalino e em ácido diluído corresponde aos ácidos fúlvicos (AF), que são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003). Os ácidos fúlvicos são constituídos; sobretudo, por polissacarídeos, aminoácidos, compostos fenólicos, entre outros, e possuem elevado conteúdo de grupos carboxílicos, ligando-se com óxidos de Fe, Al, argilas e outros compostos orgânicos (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011).

Os ácidos húmicos (AH), por sua vez, foram definidos como associações nas quais predominam compostos hidrofóbicos, pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais, responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais, especialmente em solos arenosos (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

A humina (HUM) pode ser considerada como um aglomerado de materiais húmicos e não húmicos (RICE; MacCARTHY, 1990). Apesar de apresentar baixa reatividade, é a fração

humina a responsável por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do C humificado (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

Considerada uma das principais responsáveis pela qualidade física do solo, e também, pelo sucesso de uma produção satisfatória e sustentável, a MOS, interfere na formação de agregados estáveis, na relação adequada entre macro e microporos e na retenção de água, que afetam direta ou indiretamente a produtividade das culturas implantadas (BRACALIÃO; MORAES, 2008).

Uma boa agregação do solo está diretamente relacionada com condições ideais de porosidade; ou seja, proporção correta de macroporosidade e microporosidade, responsáveis pela aeração e armazenamento de água no solo, respectivamente, além de influenciar na infiltração de água e resistência a compactação (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004; EDEN et al., 2011), o que acarreta em reflexos na produtividade das culturas.

A MOS tem função primordial na formação de agregados, pela sua ação cimentante, a qual une as partículas de areia, silte e argila, tornando os agregados estáveis e favorecendo a manutenção das propriedades físicas do solo (SIX et al., 2004). Em SSD a incorporação continua de material orgânico pelas plantas de cobertura, ou até mesmo das culturas comerciais, e também pela ação do sistema radicular das mesmas, a formação de agregados do solo é favorecida (BRONICK; LAL, 2005; SALTON et al., 2008); bem como nos demais atributos físicos do solo.

Assim, por meio da adubação verde busca-se a adequação do sistema de rotação de culturas, uma das bases fundamentais do SSD, de modo que se consiga maximizar o aporte de MOS ao longo dos anos de cultivo (SILVA et al., 2007; MARCELO et al., 2009), proporcionando um sistema de cultivo que mantenha e/ou melhore a qualidade física, química e biológica, com alta produção e de forma sustentável.

Diante dessa questão nota-se que os estudos de práticas conservacionistas para conservação do solo, além do conhecimento da constituição da matéria orgânica presente no solo, possuem extrema relevância para o sucesso das culturas comerciais e manutenção da capacidade de suporte das áreas agrícolas no âmbito produtivo e ambiental.

E, a partir disso, esse trabalho desenvolvido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), teve como hipótese: As plantas de cobertura no inverno influenciam as propriedades físicas do solo, o fracionamento químico da matéria orgânica e a produtividade da

cultura da soja em sucessão. Para avaliar essa hipótese, a dissertação foi dividida em três capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo I, intitulado como “Produtividade de matéria seca e propriedades físicas do solo após cultivo de plantas de cobertura no inverno”, teve como objetivo: avaliar a produtividade de biomassa de plantas de cobertura no inverno consorciadas e em monocultivo, e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes camadas de avaliação.

Capítulo II, intitulado como “Frações químicas da matéria orgânica do solo em sistema plantio direto em sucessão a plantas de cobertura de inverno”, teve como objetivo: Quantificar as frações de substâncias húmicas (ácido fúlvicos, húmico e húmica) e o carbono orgânico total presentes no solo, para avaliar se as plantas de cobertura proporcionam alterações nas frações da matéria orgânica. ”

Capítulo III, intitulado como “Produtividade da soja e propriedades físicas do solo em sucessão a plantas de cobertura”, teve como objetivo: Avaliar a produtividade da soja e as propriedades físicas do solo após o cultivo de plantas de cobertura de inverno em consórcio e monocultivadas.

2 REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, cap. 6, p. 873-928, 2007.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento , **Comunicado Técnico**, 7 p., 2003.

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, n. 2, p. 784-795, 2010.

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 1, 393 - 404, 2008.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Terceiro levantamento/setembro 2017, safra 2016/2017. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v. 4, n. 12, 158 p., 2017.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALBUQUERQUE, M. R. de; SANTANA, D. P. **Sistema de plantio direto de milho**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2011. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em: 05 de maio de 2016.

DEMATTÊ, J. A. M.; BORTOLETTO, M. A. M.; VASQUES, G. M.; RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 590-597, 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. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 3-21, 1994.

EDEN, M.; SCHJONNING, P.; MOLDRUP, P.; JONGE, L. W. de. Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content.

Soil Use Manage., v. 27, n. 3, p. 340-349, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES, J.; FERREIRA, V. M. Effects of pasture system management on physical properties. **Semina-Ciencias Agrarias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FIGUEIREDO, C. C.; I; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.34, n. 3, p. 907-916, 2010.

GIACOMINI, S. J. **Consortiação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto**. 2001. 124 p. (Tese de Mestrado) Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

IWATA, B. de F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; BRASIL, E. L.; COSTA, C. do N.; CAMPOS, L. P.; SANTOS, F. S. R. dos. Carbono total e carbono microbiano de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, **Anais...** EMBRAPA Meio-Norte, 2010.

KELLEHER, B. P.; SIMPSON, M. J.; SIMPSON, A. J. Assessing the fate and transformation of plant residues in the terrestrial environment using HR-MAS NMR spectroscopy. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 7, n. 16, p. 4080 - 4094, 2006.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; 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.

KRAMBERGER, B.; GSELMAN, A.; JANZEKOVIC, M.; KALIGARIC, M.; BRACKO, B. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 103-109, 2009.

LAL, R. ; GREENLAND, D. J . Soyl physical properties and crop procuction in the Tropics. John Wiley and Sons, Chichester, England, v. 5, p. 399 - 400, 1979.

LONGO R. M.; SPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000.

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-pecuaria. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M. dos R.; JORGE, R. F. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yeald. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 417- 428, 2009.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T. de; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos Físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P.; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 315-321, 2010.

MELO JÚNIOR, H. B. de; CAMARGO, R. de; WENDLING, B. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia biosfera**, v.7, n. 12, p. 1-17, 2011.

MIELNICZUK, J. **Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis**. In: Workshop sobre Sistema Radicular: metodologias e estudo de caso, 1999, Aracaju. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 13-17, 1999.

MOTTA, I. S. BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; INOUE, M. H.; ÁVILA, M. R.; BRACCINI, M. C. L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. II. Efeito na qualidade fisiológica das sementes. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1281-1286, 2002.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema Plantio Direto com qualidade**. Londrina/Foz do Iguaçu: IAPAR/ITAIPU Binacional, cap.2, p. 9-27, 2006.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 2, p. 403-415, 2011.

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

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research.**, v.30, p. 1-6, 2004.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, vol. 7, n. 5, 2011.

RICE, J. A.; MacCARTHY, P. A model of humin. **Environmental Science and Biotechnology**, v. 24, p. 1875-1877, 1990.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina**, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 266-275, 2014.

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, A. A.; SILVA, P. R. F. da; 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.

SINGER, M. J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**, p. 271 – 298, 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research.**, v. 79, p. 7-31, 2004.

URQUIAGA S, JANTALIA CP, ZOTARELLI L, ALVES BJR, BODDEY RM. Manejo de sistemas agrícolas para o sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M, ASSIS, R. L. **Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta**. Embrapa, p. 257-73, 2005.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. Piracicaba: **POTAFOS**, Informações Agronômicas, n. 90, p. 1-16. 2000.

VON LÜTZOW, M.; KOGEL-KNABNER, I.; WKSCMITT, K.; FLESSA, H.; GUGGENBERGER, G.; MATZNER, E.; MARSCHNER, B. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology Biochemistry**, v. 39, p. 2183-2207, 2007.

3 CAPITULO 1: PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA NO INVERNO

3.1 RESUMO

Com a preocupação crescente em reduzir a degradação das áreas agrícolas, o uso de diferentes formas de manejo do solo que visem à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico vem ganhando espaço. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de matéria seca de plantas de cobertura no inverno cultivadas em monocultivo e consorciadas em sistema semeadura direta e seus efeitos nas propriedades físicas do solo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: aveia-preta, aveia-preta + nabo forrageiro, nabo forrageiro, aveia-preta + ervilha forrageira, ervilha forrageira, e a testemunha (pousio). As plantas de cobertura de inverno foram semeadas mecanicamente em sistema de semeadura direta. Após 100 dias da semeadura das plantas de cobertura, efetuou-se a avaliação da produtividade de matéria seca e foram coletadas amostras de solo indeformadas para a determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade do solo. As coletas foram realizadas nas camadas de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m. A resistência do solo à penetração, foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital. Constatou-se que consórcio de aveia + ervilha forrageira, e aveia + nabo forrageiro proporcionaram um aumento na produção de matéria seca aportada ao solo de 35% e 41%, respectivamente, quando comparados com o cultivo de aveia em monocultivo; e em seguida as plantas de cobertura foram manejadas quimicamente utilizando 2,75 kg ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato. O maior volume de macroporos foi encontrado na camada 0 – 0,10 m nos tratamentos com aveia e nabo forrageiro; a testemunha foi a que apresentou maior densidade do solo para todas as camadas avaliadas; para microporosidade do solo não foram observadas alterações após o cultivo das plantas de cobertura, e houve diferença para resistência a penetração do solo entre a testemunha e o consórcio de aveia + ervilha forrageira na profundidade 0,15 m. As plantas de cobertura são capazes de aumentar o aporte de material vegetal ao solo, promovendo melhorias nas propriedades físicas do solo.

Palavras-chave: Adubos verdes, resistência a penetração, biomassa vegetal.

3.2 ABSTRACT

With increasing concern about reducing the degradation of agricultural areas, the use of different forms of soil management aimed at improving the physical, chemical and biological properties of the soil environment has been gaining ground. The objective of this work was to evaluate the dry matter yield of winter cover crops grown in monoculture and intercropping in no - tillage system, and its effects on soil physical properties. The experimental design was a randomized complete block design, with four replications. The treatments used were: black oat, black oat + forage turnip, forage turnip, black oat + forage pea, forage pea, and control (fallow). The winter cover plants were mechanically sown in a no - tillage system. After 100 days of sowing of the cover plants, the dry matter production was evaluated, and the values observed were: Oat 4.69 t ha⁻¹; forage turnip 6,24 t ha⁻¹; pea 6.01 t ha⁻¹; oat + forage turnip 7.81 t ha⁻¹; oat + forage 7.31 t ha⁻¹; and the control (fallow) 0.45 t ha⁻¹. It was found that the consortium of oats + forage pea, and oat + forage turnip provided an increase in dry matter yield to the soil of 35% and 41%. Respectively, when compared to monoculture oat cultivation; and then the cover plants were chemically treated using 2.75 kg ha⁻¹ of the glyphosate acid equivalent. After desiccation, undisturbed soil samples were collected for the determination of macroporosity, microporosity, total porosity, and soil density. The collections were carried out in the 0 - 0.10 layers; 0.10 - 0.20 and 0.20 - 0.30 and 0.30 - 0.40 m. The highest volume of macropores was found in the 0 - 0.10 m layer in treatments with forage and forage turnip; the control was the one with the highest soil density for all the evaluated strata; for microporosity of the soil no changes were observed after the cultivation of the different cover plants. The soil resistance to penetration was evaluated using the digital penetrometer, and there was a difference between the control and the oat / forage pea consortium in the depth of 0.15 m.

Keywords: Green fertilizers, penetration resistance, vegetal biomass.

3.3 INTRODUÇÃO

O cultivo do solo efetuado de maneira predatória e inconsciente leva a alteração na sua estrutura física, nas propriedades químicas e biológicas, ao longo do tempo; pois nesse sistema

não se pensa em conservá-lo, apenas em extrair do solo seu máximo potencial (WOLSCHICK et al., 2016).

Em um sistema intensivo as propriedades físicas do solo são afetadas; principalmente, a densidade e distribuição dos poros, prejudicando o desenvolvimento da cultura comercial. A degradação das propriedades físicas é o principal processo responsável pela redução da capacidade produtiva dos solos (BERTOL et al., 2004; WOLSCHICK et al., 2016), pois as perdas na sua qualidade estrutural não são capazes de fornecer as condições ideais para o pleno desenvolvimento das culturas implantadas (SANCHEZ, 2012).

Com a preocupação crescente em reduzir a degradação das áreas agrícolas, o uso de diferentes formas de manejo do solo que visem à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico vêm ganhando espaço. Dentre esses manejos alternativos o uso de plantas de cobertura merece destaque, devido aos benefícios que as mesmas são capazes de proporcionar à estrutura do solo e também às culturas sucessoras.

Os cultivos de plantas de cobertura têm por objetivo principal a formação de matéria orgânica, que melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (HARASIM et al., 2016), além de aumentar a capacidade de retenção de umidade do solo por meio da redução da velocidade de decomposição e liberação de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), dos resíduos vegetais (CRUSCIOL et al., 2008).

As plantas de cobertura podem ser cultivadas em monocultivo ou consorciadas, e desempenham um papel de protetoras do solo, sendo que no consorcio tendem a maximizar benefícios significativos ao solo, e ao sistema de cultivo (GIACOMINI, 2001), favorecendo os processos de formação de agregados pelo maior aporte de matéria orgânica no solo (TISDALL; OADES, 1982; OADES, 1984; SANCHEZ, 2012) e proporcionando melhorias principalmente na densidade e aeração (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

Em sistemas de cultivo sem o revolvimento do solo, onde se faz rotação de culturas e se mantem maior biomassa vegetal sobre a superfície, é possível observar melhoria expressiva na densidade e porosidade do solo, principalmente nas camadas subsuperficiais após consecutivos anos de cultivo conservacionista (WOLSCHICK et al., 2016).

De acordo com Fabian (2009), a cobertura vegetal tem efeito não só nas propriedades físicas do solo, mas também grande influência sobre fracionamento da matéria orgânica do solo (MOS). Essa melhoria é promovida por alguns fatores como a proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do carbono (C) em

agregados do solo; e a proteção química dos compostos, por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a oxidação microbiana pela maior recalcitrância intrínseca das moléculas orgânicas (SIQUEIRA NETO et al., 2010).

Na região Sul do Brasil a existência de monocultivo é o que ocorre nas lavouras, o que torna o sistema de cultivo, ao longo dos anos, prejudicial ao solo devido aos impactos ambientais causados, principalmente pela falta de cobertura no solo. Por isso, segundo Wolschick et al. (2016), há necessidade de divulgar os benefícios trazidos pelas plantas de cobertura às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, o aumento da produtividade, para que assim, seu uso seja expandido de maneira a favorecer a agricultura de forma sustentável. É importante ressaltar que para cada região existem plantas mais adequadas, que irão adaptar-se de forma satisfatória, maximizando seus efeitos ao sistema.

A aveia é pertencente à família *Poaceae*, sendo considerada a principal planta de cobertura utilizada no inverno na região sul do país; devido a sua rusticidade e facilidade de adaptação nessa região (NUNES, 2005), e também por ser resistente a doenças, possuir sistema radicular profundo e por apresentar grande quantidade de produção de biomassa (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012).

De acordo com Ferolla et al. (2007), a aveia preta (*Avena strigosa*) é mais cultivada do que a aveia branca (*Avena sativa* L.), principalmente devido ao seu maior potencial de produção, o que favorece o maior aporte de matéria orgânica do solo (MOS), otimizando os benefícios gerados ao solo. Por isso, ela é comumente utilizada antecedendo os plantios de soja e milho em áreas que fazem uso do sistema de semeadura direta (SSD), pois o aporte de massa seca da aveia ao solo é benéfico para manutenção do SSD da região. Além disso, o sistema radicular da aveia preta auxilia na descompactação de solos argilosos, facilitando o pleno desenvolvimento da cultura sucessora.

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), pertencente à família *Brassicaceae*, foi introduzido no Brasil no ano de 1980, basicamente com objetivo de, através de sua biomassa vegetal, ser fonte de MOS, e até hoje é utilizado como planta de cobertura. Seu sistema radicular agressivo e profundo é considerado excelente descompactador natural do solo, fazendo um preparo biológico, além de proporcionar elevada ciclagem de nutrientes, favorecendo o desenvolvimento da cultura sucessora (MUZILLI, 2002; CRUSCIOL et al., 2005).

Segundo Sá (2005), a importância do nabo forrageiro aumentou ao longo dos anos, principalmente devido a sua capacidade de recuperação da fertilidade do solo e melhorias na

estrutura e na estabilidade de agregados. Essa planta de cobertura é também uma alternativa na descompactação do solo, pois seu sistema radicular pivotante se desenvolve mesmo em solos mais compactados, proporcionando melhoria nos atributos físicos do solo ao longo dos anos de cultivo (CUBILLA et al., 2002).

A ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) é uma leguminosa (*Fabaceae*) utilizada para alimentação animal, produção de grãos; e também, como adubação verde. Quando usada em consórcio com as culturas de aveia, nabo, centeio, entre outras plantas de cobertura, seus benefícios ao solo são potencializados pelo maior aporte de MOS e nitrogênio (SANTOS et al., 2012). O cultivo desta planta é capaz de reduzir a dependência das culturas subsequentes em termos de fertilizantes químicos, especialmente N, bem como reduz custos de produção e impactos ambientais. O cultivo da ervilha pode também aumentar a produtividade da cultura sucessora, além de melhorar a qualidade do solo (GAZOLA; CAVARIANI, 2011).

Para analisar qual a melhor escolha a ser feita, com relação a semeadura das plantas de cobertura, são realizadas avaliações onde se tem como base alguns indicadores físicos que permitem avaliar os impactos causados pelos sistemas de manejo, onde destacam-se a densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (Rp), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e estabilidade de agregados (EA) (RAMOS et al., 2010; PEZARICO et al., 2013).

Para demonstrar o efeito das plantas de cobertura no solo o capítulo 1 teve por objetivo avaliar a produtividade de matéria seca de plantas de cobertura no inverno cultivadas em monocultivo e consorciadas, e seus efeitos nas propriedades físicas do solo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O trabalho foi conduzido na propriedade do Sr. Arno P. Deimling, localizada na Linha São João, município de Quatro Pontes – PR. As coordenadas geográficas são 54°00'00,5'' W e 24°34'12,3''S, com altitude de 420 metros e declividade média de 4%. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico, de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendências à concentração

das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida. A temperatura média anual é de 21°C, sendo que a média mínima é de 15°C e a máxima é de 28 °C. A precipitação média anual é em torno de 1500 mm (CAVIGLIONE et al., 2000).

A área onde o experimento foi conduzido vem sendo cultivada desde 2000 no sistema de semeadura direta (SSD), com a sucessão de cultivo das culturas de soja e milho silagem, primeira e segunda safra, respectivamente. Após a colheita da soja (safra 2015/2016), a área foi cultivada com milho, o qual foi colhido para produção de silagem no mês de abril/2016. Após a retirada do milho a área ficou em pousio até momento da implantação do experimento.

Previamente à implantação do experimento, foi realizada coleta de amostras de solo nas camadas de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m para caracterização química e granulométrica. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados apresentados para camada 0,0 - 0,10 m foram: pH (CaCl₂) = 4,57; M.O. = 28,71 g dm⁻³; P = 40,43 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 4,12 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,42 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,13 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,32 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 5,03 cmol_c dm⁻³ e V (%) = 60,39; e para a camada 0,10 - 0,20 m foram: pH (CaCl₂) = 5,02; M.O.= 15,04 g dm⁻³; P = 7,58 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 4,82 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,09 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,09 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,62 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 4,05 cmol_c dm⁻³ e V (%) = 66,39. Importante ressaltar que a área é adubada anualmente, com dejetos provenientes da suinocultura na quantidade de 60 m³ ha⁻¹ ano.

Para a determinação granulométrica foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (2011), e os resultados foram: 532,5 g kg⁻¹ de argila, 422,62 g kg⁻¹ de silte, 44,88 g kg⁻¹ de areia.

3.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: aveia-preta, aveia-preta + nabo forrageiro, nabo forrageiro, aveia-preta + ervilha forrageira, ervilha forrageira e testemunha (pousio). A área total do experimento foi de 1200 m², sendo que cada parcela possuía tamanho de 50 m².

Antes da semeadura das plantas de cobertura foi realizada a dessecação da área na dose de 2,75 kg ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato no dia 03/04/2016. As plantas de cobertura de

inverno foram semeadas mecanicamente no dia 05/05/2016 em sistema de semeadura direta. O espaçamento utilizado na entrelinha foi de 0,17 metros. Para a semeadura das plantas de cobertura foram utilizados 45, 15 e 80 Kg ha⁻¹ de semente, respectivamente para ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) cultivar IAPAR 83, nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cultivar IPR 116, e aveia preta (*Avena strigosa* S.) cultivar EMBRAPA 139. Já para o consórcio do nabo forrageiro com a aveia-preta e de ervilha forrageira com aveia-preta, foi utilizado 5 e 30 kg ha⁻¹, 25 kg e 30 kg ha⁻¹ de sementes, respectivamente (GIACOMINI et al., 2003). Não foi utilizada nenhuma adubação de base na implantação das plantas de cobertura.

Durante a condução do experimento os dados pluviométricos foram coletados, sendo apresentados na Figura 1. Conforme se verifica, não ocorreram períodos de estiagem, favorecendo o pleno desenvolvimento das plantas de cobertura.

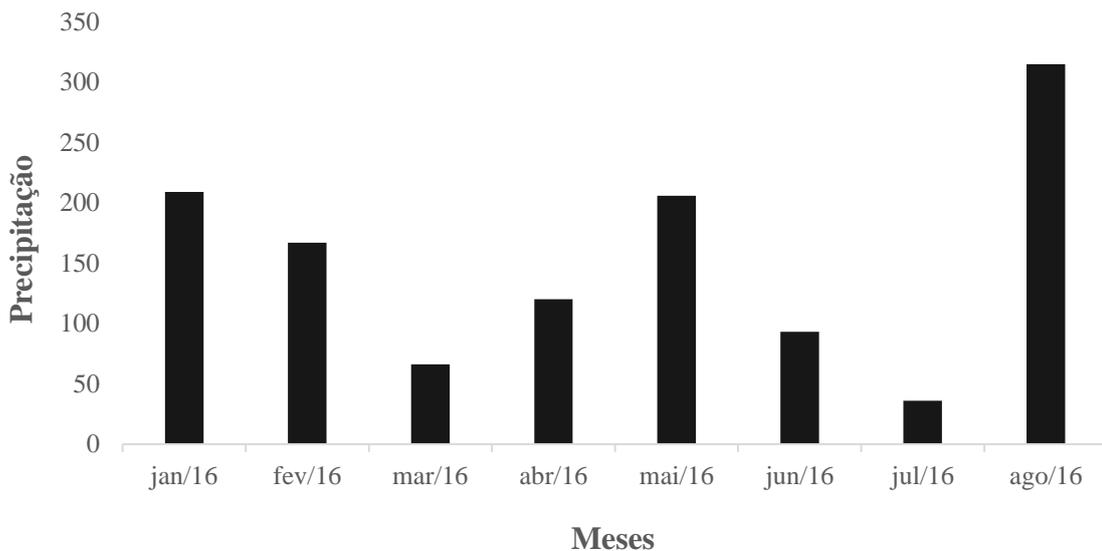


Figura 1 - Precipitação acumulada mensal durante o período de condução do experimento. Fonte: Cooperativa Agroindustrial Copagril, Quatro Pontes – PR, 2018.

Aos 100 dias após a semeadura, efetuou-se a avaliação da produtividade de matéria seca das plantas de cobertura, com quadrado de amostragem equivalente a 0,25 m², lançado aleatoriamente duas vezes em cada parcela, as plantas contidas em seu interior foram cortadas rente ao solo com uma tesoura de poda. As amostras de cada tratamento foram colocadas em sacos de papel tipo Kraft e levadas à estufa de ventilação forçada de ar com temperatura de 65°C por um período de 72 horas. Em seguida as plantas de cobertura foram manejadas quimicamente utilizando 2,75 kg ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato.

Após o manejo das plantas de cobertura foram coletadas amostras de solo indeformadas em cada uma das parcelas para a determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds). Para isso utilizou-se um trado tipo Uhland, com cilindro metálico (anel de Kopeck) de volume conhecido (50 cm³) nas camadas 0 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m. As análises de Ma, Mi e Pt foram realizadas em mesa de tensão com potencial de -0,006 MPa (sucção leve), e a Ds pela relação entre a massa de solo seco e o volume total do solo coletado (EMBRAPA, 2011).

A resistência do solo à penetração, foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PGL 1020, sendo realizadas cinco determinações por parcela. Os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados a cada 0,05 m de profundidade até 0,40 m. Para o processamento dos dados de resistência à penetração, foi utilizado o Software PenetroLOG. No momento da amostragem, em cada parcela foram retiradas três amostras de solo nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, para análise da umidade, sendo determinada pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 2011), a qual apresentou em média 0,22 kg kg⁻¹ de água.

A estabilidade dos agregados via úmida, foi realizada conforme a metodologia descrita por Kiehl (1979) nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, sendo as amostras coletadas com o auxílio de uma pá de corte para a retirada de um monólito de solo com aproximadamente 5 cm de largura.

Após a coleta, foram pesadas amostras de 50 g, que ficaram retidas na peneira de 4 mm, umedecidas com borrifador, colocadas no jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,10 mm, e submetidas à agitação no aparelho de Yooder, durante 15 minutos. Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi retirado, separadamente, com o auxílio de jato d'água, colocado em latas previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa até peso constante (KIEHL, 1979).

Foram determinados o diâmetro médio ponderado (DMP) (KIEHL, 1979) (equação 1) e diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER; ROSENAU, 1986) (equação 2) e índice de estabilidade de agregados (IEA) (SILVA; MIELNICZUK, 1997) (equação 3).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (1)$$

Onde:

x_i : diâmetro médio das classes (mm)

w_i : proporção de cada classe em relação ao total.

$DMG=10^x$

$$x = \left[\frac{\sum (n \log d)}{\sum n} \right] \quad (2)$$

Onde:

n : massa dos agregados retidos em determinada peneira (g);

d : diâmetro médio de determinada faixa de tamanho de agregados (mm).

$IEA = DMP_u / DMP_s$

Onde:

DMP_u : solo retido nas peneiras (g) após tamizamento úmido.

DMP_s : solo seco (g) antes do tamizamento úmido.

3.4.3 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância considerando nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados para a produtividade de matéria seca das plantas de cobertura. A maior produtividade de matéria seca foi obtida no cultivo de plantas de cobertura consorciadas, com produtividade média de 7,56 Mg ha⁻¹, não diferindo significativamente entre si. Houve diferença significativa para as plantas de cobertura cultivadas em monocultivo, sendo a menor produtividade obtida no cultivo de aveia-preta (4,69

Mg ha⁻¹). A menor produtividade de matéria seca foi obtida na testemunha (pousio) com 0,45 Mg ha⁻¹.

Tabela 1 - Resultados médios para produtividade de matéria seca aportada ao solo pelas plantas de cobertura no inverno.

Plantas de cobertura	Matéria seca Mg ha ⁻¹
Aveia preta	4,69c
Nabo forrageiro	6,24b
Ervilha forrageira	6,01b
Aveia + Nabo	7,81a
Aveia + Ervilha	7,31 a
Testemunha	0,45d
CV (%)	7,22
DMS	0,89

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}: Não Significativo.

A produtividade de matéria seca do nabo-forrageiro foi de 6,24 Mg ha⁻¹, sendo inferior a encontrada por Doneda et al. (2012), que observaram uma produção de 8,3 t ha⁻¹ seguido da ervilha forrageira em trabalho realizado em Não-me-Toque - RS, em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Em trabalho semelhante realizado em Guarapuava – PR, Sanchez (2012) obteve produção de nabo forrageiro 12,73 Mg ha⁻¹ e aveia preta de 9,12 Mg ha⁻¹ de parte aérea.

Os consórcios de aveia + nabo-forrageiro e aveia + ervilha-forrageira aportaram 41 e 35% a mais de material vegetal ao solo, quando comparados com o cultivo de aveia em monocultivo. Este resultado indica que o consórcio entre as plantas de cobertura é uma alternativa favorável em relação ao monocultivo, pois por meio da consorciação é possível incrementar matéria orgânica ao solo, levando a uma melhor condição química, física e biológica, e conseqüente favorecimento da cultura sucessora. Silva et al. (2007) também observaram maior produção de fitomassa nos consórcios de nabo-forrageiro e aveia preta, com trabalho semelhante realizado em Argissolo Vermelho Distrófico típico.

De acordo com Heinrichs et al. (2001), quando utilizadas plantas de cobertura consorciadas obtém-se uma fitomassa com relação C/N intermediária àquela das culturas em monocultivo e, conseqüentemente, proporcionam ao solo proteção por mais tempo, com fornecimento de nutrientes à cultura em sucessão de forma mais equilibrada e diversidade dos

sistemas radiculares, que levam a uma melhoria das propriedades físicas do solo ao longo dos anos de cultivo.

Quanto às propriedades físicas do solo, verificaram-se diferenças significativas para efeito das plantas de cobertura nas diferentes camadas de avaliação (Tabela 2). Foram observadas diferenças significativas para a macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds). Constatou-se maior Ma para a camada de 0,0 – 0,10 m nos tratamentos que continham nabo forrageiro e aveia em relação ao pousio. Para a camada 0,10 – 0,20 e 0,30 – 0,40 o tratamento com aveia em monocultivo igualou-se a testemunha para Ma (Tabela 2). De acordo com Calegari (2006), as plantas de cobertura, por intermédio do incremento de matéria orgânica ao solo e ação do sistema radicular distinto são capazes de influenciar benéficamente nas propriedades físicas do solo, dando destaque para Ma e Ds, corroborando os resultados encontrados neste trabalho.

Valores de Ma inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ observados no tratamento testemunha em todas as camadas podem afetar o crescimento radicular das culturas devido à limitação do desenvolvimento radicular, pela reduzida taxa de difusão de gases no solo e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas (SEIDEL et al., 2015).

Para a microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do solo não foram encontradas diferenças entre os tratamentos utilizados. A Mi é pouco afetada pelo manejo em um curto prazo. Esse resultado deve-se a maior demora para alteração deste atributo no solo, devido principalmente a maior resistência a deformação desses poros pela maior correlação desse atributo com a textura e com os teores de carbono orgânico do solo (VIANA et al., 2011).

Santos et al. (2009), em trabalho semelhante observaram que a cobertura vegetal influenciou significativamente os valores da Mi, mas não afetou nenhum outro atributo estudado (Ds, Ma e Pt), diferindo dos resultados encontrados neste trabalho (Tabela 2).

Para Ds na camada 0,0 – 0,10 m não houve diferença entre os tratamentos; o tratamento com aveia preta, nas camadas 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m, foi o que obteve menor valor de Ds ($1,23$ e $1,37 \text{ mg m}^{-3}$, respectivamente), quando comparado à testemunha ($1,46$ e $1,57 \text{ mg m}^{-3}$, respectivamente), sendo que na camada mais profunda de avaliação nota-se que o tratamento com nabo forrageiro apresentou maior Ds que a aveia monocultivada ($1,43 \text{ mg m}^{-3}$).

Tabela 2 - Resultados médios para as propriedades físicas do solo com diferentes de plantas de cobertura de inverno e profundidades (metros) de avaliação.

Camadas (m)	Macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,1033 a	0,1032 a	0,1004 ab	0,1057 a	0,1025 a	0,0916 b
0,10 - 0,20	0,0985 ab	0,0986 ab	0,0995 a	0,1053 a	0,1009 a	0,0842 b
0,20 - 0,30	0,0966 a	0,0978 a	0,0978 a	0,0999 a	0,0986 a	0,0841 b
0,30 - 0,40	0,0907 ab	0,0958 a	0,0947 a	0,0948 a	0,0953 a	0,0828 b
	Microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,4322 ^{ns}	0,4016 ^{ns}	0,4480 ^{ns}	0,4353 ^{ns}	0,4216 ^{ns}	0,3996 ^{ns}
0,10 - 0,20	0,4391	0,4444	0,4503	0,4224	0,4386	0,4713
0,20 - 0,30	0,4137	0,4235	0,4830	0,4371	0,4315	0,4644
0,30 - 0,40	0,4311	0,4551	0,4495	0,4479	0,4413	0,4604
	Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,5355 ^{ns}	0,5048 ^{ns}	0,5484 ^{ns}	0,5907 ^{ns}	0,5240 ^{ns}	0,4912 ^{ns}
0,10 - 0,20	0,5673	0,5429	0,5498	0,5277	0,5395	0,5544
0,20 - 0,30	0,5103	0,5213	0,5808	0,5369	0,5301	0,5485
0,30 - 0,40	0,5218	0,5509	0,5443	0,5428	0,5366	0,5432
	Densidade do solo (mg m^{-3})					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	1,23 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,25 ^{ns}
0,10 - 0,20	1,23 b	1,38 ab	1,32 ab	1,32 ab	1,31 ab	1,46 a
0,20 - 0,30	1,37 b	1,37 b	1,35 b	1,32 b	1,30 b	1,57 a
0,30 - 0,40	1,27 b	1,43 b	1,35 ab	1,29 ab	1,32 ab	1,41 ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}: Não Significativo.

O fato do tratamento com nabo forrageiro ter apresentado valor elevado de Ds pode estar relacionado ao crescimento do seu sistema radicular proporcionar uma pressão no solo, fazendo as partículas ficarem mais próximas, o que leva a um aumento temporário da Ds nesses locais (KUBOTA; HOSHIBA; BORDON, 2005).

A aveia preta destaca-se entre as plantas de cobertura no Sul do Brasil devido a lenta decomposição de sua palhada e, principalmente, devido a seu sistema radicular fasciculado favorecer a descompactação do solo pela maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo, levando, conseqüentemente, a redução da Ds (CUNHA et al., 2011).

Para a camada 0,20 – 0,30 m todos os tratamentos obtiveram menor valor para Ds em relação à testemunha (Tabela 2). A camada de 0,10 a 0,30 m é a que apresenta valores mais elevados de Ds, resultados observados também na avaliação da resistência do solo à penetração (Figura 1), principalmente no tratamento testemunha.

Debiasi et al. (2010) demonstraram que a aveia preta e o consórcio aveia + ervilhaca apresentaram os menores valores de Ds e maiores de Pt e Ma, semelhantes ao deste trabalho, no qual o consórcio de aveia + ervilha obtiveram menores valores de Ds, diferindo da testemunha.

Para a Ds, Reichert, Reinert e Braidá (2003) ressaltam que o limite crítico ao desenvolvimento das plantas está entre a faixa de 1,40 a 1,50 Mg m⁻³, para solos com teores de argila similares ao utilizado no presente estudo. Observa-se que a testemunha apresenta valores dentro da faixa crítica (Tabela 2), o que pode ser justificado pela realização de silagem durante 12 anos consecutivos na área do experimento, mostrando a importância da utilização de plantas de cobertura, que auxiliam na melhoria das propriedades físicas do solo.

A melhoria gerada na estrutura do solo por meio da utilização de plantas de cobertura proporciona benefícios à porosidade e aeração do solo, segundo observado por Abreu, Reichert e Reinert (2004), e também observadas nesse experimento. Porém essas melhorias ocorrem de maneira mais expressiva somente após a decomposição das raízes das plantas de cobertura, que formam poros mais estáveis e favorecem o desenvolvimento das plantas (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

Para a resistência à penetração (R_p) constatou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos utilizados apenas para a profundidade de 0,15 m, onde o cultivo de aveia + ervilha foi o único que diferiu da testemunha. Nas demais profundidades avaliadas os tratamentos não apresentaram diferença significativa (Figura 2).

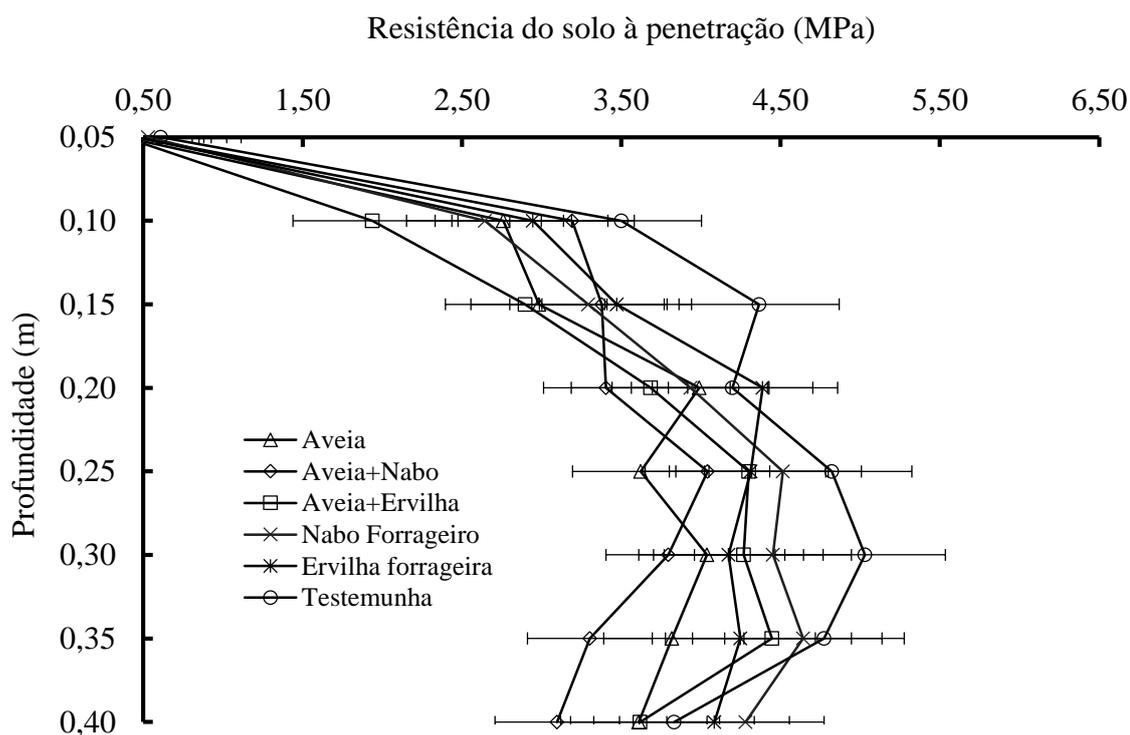


Figura 2 - Resultados médios para resistência do solo à penetração com diferentes plantas de cobertura.

Os valores de R_p observados estão elevados, acima do nível crítico que é de 2,0 Mpa, o que era de se esperar, pois esta área vem sendo utilizada para a produção de silagem por muitos anos. Para a produção de silagem o tráfego de maquinários é constante e agrava-se com o manejo da cultura com a umidade do solo acima da consistência friável, aliado ao elevado teor de argila do solo onde foi instalado o experimento (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006; ROSSET et al., 2014).

Observa-se que nas camadas onde ocorreram maiores valores de D_s também se observou maiores valores de M_i e R_p , resultados também observados por Secco, Reinert e Reichert (2004), pois a D_s influencia diretamente na M_i e R_p do solo.

Em trabalho realizado por Rosset et al. (2014), avaliando-se as propriedades físicas do solo em diferentes tempos de conversão do sistema de plantio convencional para o SSD, no Oeste do Paraná, observou-se para a densidade do solo e resistência à penetração, valores superiores ao limite crítico, o que sugere a ocorrência de camadas subsuperficiais compactadas, o que pode afetar de forma negativa o desenvolvimento das culturas (DIMASSI et al., 2013).

A eficiência uso de plantas de cobertura na redução da compactação depende do estado inicial de compactação que se encontra o solo e do tempo de manejo, não sendo possível solucionar o problema em curto período de tempo, isso porque mesmo espécies indicadas para esta finalidade têm o desenvolvimento de suas raízes limitado quando o solo apresenta níveis muito elevados de D_s e R_p (CUBILLA et al., 2002).

Neste experimento já foram observadas melhorias na porosidade do solo após o cultivo de plantas de cobertura, e a ação das plantas de cobertura proporcionará ainda mais benefícios após a decomposição, pela ação de seus sistemas radiculares, que deixaram canais os quais acabam contribuindo para a melhoria da qualidade física do solo e, conseqüentemente, a taxa de infiltração de água para as culturas subsequentes (SOBRINHO et al, 2003).

Com relação à agregação do solo, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos utilizados (Tabela 3). Dentre os fatores que influenciam a agregação do solo destacam-se a presença de óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) e matéria orgânica (BASTOS et al., 2005), sendo que em solos mais intemperizados, como os Latossolos, os principais agentes responsáveis pela estabilização dos agregados são os óxidos e hidróxidos de Fe e Al (FERREIRA et al., 2007).

A presença de óxidos e hidróxidos de Fe e Al em Latossolos pode explicar o porquê de a estabilidade de agregados não ter sido influenciada de forma significativa em um curto período de tempo, pois segundo Tisdall e Oades (1982), os óxidos e hidróxidos de Fe e Al estão ligados a presença de agregados menores, porém muito estáveis, e de difícil alteração em curto período de tempo.

Calonego e Rosolem (2008) encontraram diferença significativa para DMP e DMG trabalhando com plantas de cobertura no inverno por três anos e soja em sucessão. Amadori et al. (2013) observaram valores de DMP de aproximadamente 3 mm na camada superficial do

solo quando trabalhando com sistema de plantio direto consolidado, e valores menores que 1 mm em sistema de cultivo convencional.

Tabela 3. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) após o cultivo de plantas de cobertura de inverno, em diferentes profundidades de avaliação.

Tratamentos	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)
0,0 – 0,20 m			
Aveia preta	2,18 ^{ns}	1,25 ^{ns}	97,29 ^{ns}
Nabo forrageiro	2,44	1,44	96,04
Ervilha forrageira	2,45	1,37	95,99
Aveia + Nabo	2,23	1,17	95,95
Aveia + Ervilha	2,44	1,36	96,04
Testemunha	2,13	1,15	96,23
0,20 – 0,40 m			
Aveia preta	2,04 ^{ns}	1,13 ^{ns}	97,01 ^{ns}
Nabo forrageiro	2,53	1,57	96,21
Ervilha forrageira	2,40	1,40	96,36
Aveia + Nabo	2,24	1,26	96,17
Aveia + Ervilha	2,34	1,27	96,21
Testemunha	2,11	1,08	95,59

^{ns}: Não Significativo.

De acordo com Ambrosano et al. (2009), o uso de plantas de cobertura favorece a agregação do solo devido a atividade radicular das plantas, por meio da liberação de exsudatos que proporcionam ação cimentante das partículas, pelo maior aporte de biomassa e pela rápida decomposição das plantas, porém para que se observe alterações significativas é necessário um longo período.

Além disso, a adoção de práticas conservacionistas baseadas no mínimo revolvimento, no correto manejo de resíduos e na inclusão plantas de cobertura que favoreçam rotação de culturas podem evitar que ocorra a degradação da matéria orgânica, além de manter e/ou recuperar a estrutura do solo (BAYER et al., 2006). A maior produção de biomassa pelas plantas de cobertura, comparada a área deixada em pousio, beneficia a formação e estabilização de agregados do solo, devido a ação das raízes das plantas, a elevação dos teores de matéria orgânica do solo e da atividade microbiana (MADARI et al., 2005).

3.6 CONCLUSÕES

Os consórcios de aveia com ervilha-forrageira e com nabo-forrageiro proporcionam maior aporte de matéria seca ao solo, demonstrando potencial de acúmulo de matéria seca em relação aos monocultivos.

As plantas de cobertura foram capazes de proporcionar melhorias na macroporosidade, densidade do solo e resistência do solo a penetração quando comparadas a área de pousio (testemunha); entretanto, não influenciaram na agregação do solo.

3.7 REFERÊNCIAS

AMADORI, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; CASALI, C. A.; CALEGARI, A.; SANTOS, D. R. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes plantas de coberturas de inverno e sistemas de preparo do solo. **Anais.. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, SC, 2013.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASSV, E. A.; MURAOKAI, T.; GUIRADOI, N.; ROSS, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 386-394, 2009.

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

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. de S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. da. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

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

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 485 - 494, 2004.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R. et al. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, p. 55-74, 2006.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônômico do Paraná (IAPAR), 2000.

CASALI C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo-forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, J. M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 71, p. 29-32, 2002.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.

DIMASSI, B.; COHANB, J. P.; LABREUCHE, J.; MARY, B. Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 169, p. 12-20, 2013.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 225 p., 2011.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 83 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2009.

FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 95 p., 2000.

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul-Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 381-388, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FEROLLA, F. S.; VÁSQUEZ, H. M.; SILVA, J. F. C. da; VIANA, A. P.; DOMINGUES, F. N.; AGUIAR, R. da S. Produção de matéria seca, composição da massa de forragem e relação lâmina foliar/ caule + bainha de aveia-preta e triticale nos sistemas de corte e de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1512 - 1517, 2007.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. Brasília: Embrapa, 2012.

FRANKEN, E. M.; KLEINUBING, C.E.; HAHN, L.; HAHN, M. Plantas de cobertura do solo: produção de biomassa e efeito na cobertura e densidade do solo. In: **Semana do servidor e 5ª semana acadêmica**. Uberlândia, ufu, 2008.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 748-763, 2011.

GIACOMINI, S. J. **Consortiação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto**. 2001, 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

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 do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

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

HARASIM, E.; GAWEDA, D.; WESOLOWSKI, M.; KWIATKOWSKI, C.; GOCOL, M. Cover cropping influences physico-chemical soil properties under direct drilling soybean. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 66, p. 85 - 94, 2016.

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, n. 2, p. 331 - 340, 2001.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 449 - 510, 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. **In:** Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, p. 425-442, 1986.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relação solo planta. São Paulo, **Agrônômica Ceres**, 422 p., 1979.

KUBOTA, A; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 2, p. 150-158, 2005.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 100, p. 6-10, 2002.

NUNES, J. L. S. **Cereais de inverno – Avena spp.** Portal Agrolink, 2005. Disponível: <<http://www.agrolink.com.br/>> Acesso em: 18 de Abril de 2017.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 163- 170, 2006.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability, mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p. 319-337, 1984

PEREIRA, F.S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; ALMEIDA, C.X.; PEREIRA, F.S. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the precropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 211-218, 2010.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciência Agrária**, v. 56, n. 1, p. 40 - 47, 2013.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1ª ed. Campinas: Instituto Agronômico; 2001.

RAMOS, J. C. IMHOFF, S. DEL C.; PILATTI, M. A.VEGETTI, A. C. Morphological characteristics of soybean root apices as indicators of soil compaction. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 707 - 712, 2010.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-17, 2003.

ROSSET, J. S.; LANA, M. do C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 2014.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o 46 crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 26p., 2005.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 59 p. Dissertação de Mestrado, Guarapuava, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012.

SANTOS, L. N. S. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 140-149, 2009.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Conversão e balanço de energia de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1193 - 1199, 2011.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R.S; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S. (Ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2.ed. Brasília: Embrapa, p. 305- 320, 2012.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); 353 p., 2013.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F. da; 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.

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J. M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. de 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, n. 1, p. 187 - 195, 2010.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C.O. da. Produtividade da soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 1, p. 18-25, 2015.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R.; 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.

SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates. **Journal of Soil Science**, San Francisco, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

WOLSCHICK, N.H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, C. F. dos; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

4 CAPÍTULO 2: FRAÇÕES QUÍMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

4.1 RESUMO

A avaliação da qualidade do solo pode ser feita através de diversos indicadores, sejam eles químicos, físicos ou biológicos, sendo a matéria orgânica do solo (MOS), com suas respectivas frações um dos principais indicadores. O trabalho teve por objetivo realizar o fracionamento químico da MOS em área com cultivo de plantas de cobertura cultivadas no período de inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se das culturas de cobertura de inverno aveia preta, ervilha forrageira, nabo forrageiro em monocultivo e consorcio de aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilha forrageira e a testemunha (pousio) no inverno. Após o cultivo das plantas de cobertura realizou-se a dessecação da área e posterior coleta de solo nas camadas de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) e o fracionamento químico da MOS, separando-a em: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU), com posteriores cálculos do extrato alcalino (EA) e das relações AH/AF; EA/HU e a representatividade percentual dos AF, AH e HU no COT no solo após o cultivo das plantas de cobertura. Para fração de AF e EA observaram-se resultados significativos; para AF na camada 0,20-0,40 m e EA para ambas as camadas, onde o tratamento aveia + nabo forrageiro destacou-se com maior teor quando comparado ao monocultivo de ervilha forrageira. O uso de plantas de cobertura alterou apenas os teores de AF, não sendo capazes de proporcionar um aumento de AH, HU e COT e, conseqüentemente, da estabilidade da MOS, devido ao curto período de tempo de condução do trabalho.

Palavras-chave: Adubos verdes; ácidos húmicos; cobertura do solo.

4.2 ABSTRACT

The evaluation of soil quality can be done through several indicators, be they chemical, physical

or biological, being the soil organic matter (MOS), with its respective fractions one of the main indicators. The objective of this work was to carry out the chemical fractionation of the MOS in an area with cover crops cultivated during the winter period. The experimental design was a randomized complete block design with six treatments and four replications. The treatments consisted of the winter cover crops of black oats, forage peas, forage turnip in monoculture and consortium of black oat + forage turnip, black oat + forage pea and control (fallow) in winter. After the cover plants were cultivated, the area was desiccated and the soil was collected in the 0.0-0.20 and 0.20 - 0.40 layers to determine the total organic carbon (TOC) (AF), humic acids (AH), and humin (HU), with subsequent calculations of alkaline extract (EA) and AH / AF ratios; EA / HU and the percentage representativity of AF, AH and HU in TOC in the soil after the cultivation of cover plants. For AF and EA fractions, significant results were observed; for AF in the 0.20-0.40 m layer and EA for both layers, where the treatment oat + forage turnip stood out when compared to forage pea monoculture. The use of cover plants altered only the levels of PA, not being able to provide an increase of AH, HU and TOC and, consequently, of the stability of MOS, due to the short period of time of conduction of the work

Keywords: Green fertilizers; humic acids; ground cover

4.3 INTRODUÇÃO

Com o avanço dos sistemas de cultivos de forma intensiva, aumentam a influência da degradação do solo na redução da produtividade das culturas, tornando-se uma das grandes preocupações no setor agrícola brasileiro, pois o solo é o suporte de todo sistema de produção (MATIAS et al., 2012).

Dentre os sistemas de manejo utilizados, o sistema de semeadura direta (SSD) é uma forma de cultivar o solo de maneira que se garanta a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e também o sucesso produtivo, reduzindo os impactos negativos sobre os recursos naturais, minimizando tanto as perdas de solo como as de carbono orgânico total (COT) (PEREIRA et al., 2013), principalmente devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e à proteção física da MOS no interior dos agregados do solo, sendo a extensão desses benefícios

influenciada pelo tipo de solo, clima e com o manejo realizado (SIX et al., 2004; SALTON et al., 2011).

Para avaliar a qualidade de um solo, a MOS é um dos atributos mais utilizados, pois detecta alterações nos teores de carbono orgânico, conseqüentemente, nos sistemas agrícolas (CAMPOS e ALVES, 2008). No solo, a matéria orgânica é todo material que contenha carbono orgânico; o que inclui resíduos vegetais e animais, microrganismos, biomassa microbiana, raízes e húmus (BERG; LASKOWSKI, 2006).

Os benefícios trazidos pela adição de material vegetal ao solo levam algum tempo para serem observados de maneira significativa, pois o processo de reestruturação e melhoria da qualidade do ambiente edáfico é bastante complexo, principalmente em solos mais intemperizados (BRONICK e LAL, 2005) e com usos agrícolas mais intensos (PICOLI, 2013). Em áreas onde é realizada a prática da silagem o aporte de material vegetal ao solo ao longo dos anos é menor, e apenas um ciclo de cultivo com plantas de cobertura é insuficiente para proporcionar alterações em sua qualidade física, pois a matéria orgânica será rapidamente consumida pelos microrganismos (WENDLING et al., 2005).

Além disso, em regiões tropicais que apresentam altas temperaturas e umidade, os processos químicos e bioquímicos no solo são mais acelerados, sendo observadas altas taxas de decomposição da MOS, tornando mais lento os benefícios proporcionados ao solo (ANDRADE, 2013).

A eficiência do SSD em manter o estoque de carbono orgânico do solo está relacionada ao manejo de culturas, sendo fundamental a associação de um sistema de rotação de culturas diversificadas, que produza adequada quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo durante todo o ano (CERETTA et al., 2002). Portanto, a utilização de plantas de cobertura antecedendo as culturas comerciais é um aspecto importante, e que possibilita a garantia de que se mantenha boa quantidade de palhada sobre o solo, favorecendo a consolidação do SSD e o aumento dos teores de carbono no solo (SANTOS et al., 2012) ao longo dos anos de adoção deste sistema de cultivo (ANGHINONI, 2007).

Sabe-se que a quantidade de MOS presente no solo é a diferença entre o material vegetal adicionado e a sua taxa de decomposição (BARROS, 2013). O sistema agrícola manejado de forma inadequada pode reduzir o conteúdo de matéria orgânica, principalmente quando são

adotados sistemas de preparo com revolvimento do solo, e sistemas de cultivo com baixo aporte de resíduos vegetais (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Porém, quando manejado corretamente causa aumento da quantidade e melhoria da qualidade da MOS.

A MOS desempenha papel fundamental nas funções do solo, indicando as alterações do ambiente edáfico, sendo que as formas de carbono orgânico e as características químicas e físicas do solo estão estreitamente relacionadas e variam de acordo com as práticas de manejo aplicadas (CARVALHO et al., 2010; BALDOTTO et al., 2010). A MOS do solo é composta de substâncias húmicas (SH); divididas em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU) que são consideradas a parte humificada da MOS no solo, representando cerca de 70% do carbono (C) presente no solo (STEVENSON, 1994; PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011).

As SH se formam por meio da transformação dos resíduos orgânicos, resultado da decomposição da MOS, e são diferenciadas por meio da sua solubilidade. Os AF são os compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular, sendo os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os AH apresentam pouca solubilidade em solos tropicais devido à acidez encontrada, e por isso seu teor é menor que os teores de AF. A HU apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (BENITES; MADARI, MACHADO, 2003).

Devido a sua importância no solo, a compreensão da dinâmica da MOS em sistemas de produção permite o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam a sustentabilidade do sistema ao longo do tempo (ROSSI, et al., 2011), pois o baixo incremento de material orgânico ocasiona menores teores de carbono no solo, o que aumenta a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e causa diminuição da proteção física da MOS sendo que o uso de plantas de cobertura vem como uma das soluções para reduzir esses problemas (BEHESTHI et al., 2012).

Com base no exposto acima o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da cobertura do solo proporcionada por plantas de cobertura no inverno nas frações químicas da matéria orgânica e no teor de carbono orgânico total do solo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A localização e caracterização da área de estudo está apresentada no item 3.4.1 do Capítulo I (pág. 16).

4.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dado

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, sendo os tratamentos de inverno as plantas de cobertura em monocultivo ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cultivar e aveia preta (*Avena strigosa* S.), e consorciadas (aveia + ervilha forrageira; aveia + nabo forrageiro) e a testemunha (pousio). Cada parcela foi composta por 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50 m². À área útil da parcela foi calculada descartando 0,50 m de cada extremidade e 0,45 m de cada uma das laterais, totalizando 40,5 m².

A implantação das culturas de inverno foi realizada mecanicamente e foram utilizados 45, 15 e 80 Kg ha⁻¹ de semente, respectivamente para ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) cultivar IAPAR 83, nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cultivar IPR 116, e aveia preta (*Avena strigosa* S.) cultivar EMBRAPA 139. Já para o consórcio do nabo forrageiro com a aveia-preta e de ervilha forrageira com aveia-preta, foi utilizado 5 e 30 kg ha⁻¹, 25 kg e 30 kg ha⁻¹ de sementes, respectivamente (GIACOMINI et al., 2003). Não foi utilizada nenhuma adubação de base na implantação das plantas de cobertura.

Durante a condução do experimento os dados pluviométricos foram coletados, sendo apresentados no no capítulo I, item 3.4.2, Figura 1 (pág 17). Conforme verifica-se não ocorreram períodos de estiagem, favorecendo o pleno desenvolvimento das plantas de cobertura.

4.4.3 Coletas e análises

As plantas de cobertura foram manejadas por meio da dessecação após cem dias da semeadura, com $2,75 \text{ kg ha}^{-1}$ do equivalente ácido glifosato. Em seguida com auxílio de um trado holandês, coletaram-se as amostras de solo nas camadas de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m para realização do fracionamento químico da matéria orgânica.

O fracionamento químico quantitativo das SH foi realizado segundo Swift (1996) com adaptação de Benites; Madari, Machado (2003), com três repetições, sendo obtidas as frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU). Para tanto, pesou-se 0,5 g de solo que foi colocado em tubos de centrifuga de 50 ml. As amostras foram tratadas com NaOH 0,1 mol.L⁻¹ (20 ml), agitadas manualmente e deixadas em repouso por 24 h. Após esta etapa, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm por 30 minutos, e então recolheu-se o sobrenadante em tubos numerados.

Posteriormente foi adicionado mais 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ a cada amostra e agitando-se manualmente até o desprendimento e ressuspensão do precipitado; deixando em repouso por uma hora, sendo posteriormente a amostra centrifugada novamente por 30 minutos; sendo o sobrenadante recolhido juntamente com o já reservado. O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0 pela adição da solução H₂SO₄ (20%) e deixado para decantar durante 18 h sob refrigeração.

Após a decantação recolheu-se o filtrado, e o volume foi aferido para 50 mL usando H₂O destilada (fração ácidos fúlvicos - AF); e posteriormente adicionou-se NaOH 0,1 mol L⁻¹ sobre o precipitado até a lavagem completa, também se aferiu o volume para 50 mL usando H₂O destilada (fração ácidos húmicos - AH). O material que ficou nos tubos de centrifugação foi transferido para placas de Petri e levado a estufa para secagem completa a 50°C, sendo esse material a fração humina - HU. A determinação quantitativa do carbono orgânico total (COT) foi feita por meio da metodologia adaptada de Yeomans e Bremmer (1988), e do carbono nos extratos das frações AF, AH e HU por meio da oxidação do carbono com dicromato de potássio e titulação do excesso, com sulfato ferroso amoniacal (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

Após a determinação dos teores de carbono em cada uma das frações húmicas da MOS, foram calculadas as relações entre os teores de carbono das frações ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF), a relação entre as frações solúveis do extrato alcalino, e o teor de C na fração humina (EA/HU), em que EA (carbono do extrato alcalino) é $EA=AF+AH$. Além disso, foram realizados cálculos referentes à porcentagem representativa de ácidos fúlvicos (%AF), húmicos (%AH) e humina (%HU) e carbono não humificado (CNH%) presentes no COT.

4.4.4 Análises estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores médios de carbono orgânico total (COT) (26,19 g kg⁻¹) foram verificados na camada de 0-0,20 m, sendo observada redução nos teores com o aumento da profundidade (18,15 g kg⁻¹) (Tabela 1). Esses resultados são esperados em áreas de plantio direto, onde a palhada permanece na superfície do solo e, conseqüentemente, aumenta os teores de COT nessa camada em relação às camadas subsuperficiais (WEST; POST, 2002; BODDEY et al., 2010; ROSSET et al., 2014, 2016).

Salton et al. (2011), trabalhando com integração lavoura pecuária também observaram maiores valores de COT na superfície do solo nos sistemas onde utilizou-se o SSD, e um decréscimo desses valores em profundidade, fato esse relacionado com o maior aporte do material vegetal à superfície e ao não revolvimento do solo (BODDEY et al., 2010). Resultados semelhantes foram observados por Rossi et al. (2011), em estudos com soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo no município de Montividiu (GO), em Latossolo Vermelho.

Entretanto, não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura, provavelmente porque não houve tempo suficiente para a completa decomposição do material

vegetal aportado sobre a superfície do solo, devido ao curto período de tempo entre dessecação e coletas. A não diferença entre os tratamentos utilizados pode estar relacionada a diversos fatores, como clima, solo, sucessão de culturas realizada na área, além do tempo curto em que foram realizadas as análises, pois o acúmulo de carbono no solo é um processo lento, e em áreas onde a retirada do material vegetal é constante o processo torna-se mais difícil e demorado (CARVALHO et al., 2009), como na área do experimento, onde é realizada silagem de milho no inverno e verão, por 12 anos.

Rosset et al. (2014) evidenciaram efeitos no aumento do COT do solo somente após 16 anos de cultivo da sucessão soja/milho também na região Oeste do Paraná. Apesar da ausência de diferenças entre os sistemas avaliados em ambas as camadas, para a camada de superficial verificou-se que o consórcio de aveia + nabo forrageiro apresentou 16,8, 15,2 e 10,5% a mais de COT em relação às plantas monocultivadas aveia, nabo forrageiro e ervilha forrageira, respectivamente (Tabela 1).

O consórcio de aveia + ervilha forrageira apresentou 6,4 e 4,6% a mais de COT quando comparado com aveia e nabo monocultivadas (Tabela 1). Esses resultados foram também observados por Loss et al. (2015) quando trabalhando nabo forrageiro, aveia e centeio em monocultivo e consorciados, porém não foram suficientes para apresentar diferença significativa entre os tratamentos, corroborando os resultados deste trabalho.

Essas maiores proporções de COT podem estar associadas à relação C/N dos consórcios, pois o consórcio proporciona relação C/N é intermediária àquela das espécies em cultura pura, reduzindo a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais em relação aos monocultivos (GIACOMINI et al., 2003; DONEDA et al., 2012).

Em trabalho realizado por Loss et al. (2015), utilizando plantas de cobertura de inverno monocultivadas e consorciadas (nabo forrageiro, aveia preta e centeio) em Cambissolo Húmico no estado de Santa Catarina, não observaram diferenças entre os teores de COT nesses tratamentos sob SSD. Porém quando comparados com o sistema semeadura convencional (SSC), com revolvimento do solo, observaram menores valores de COT para SSC, devido ao revolvimento do solo, causando efeitos negativos como a ruptura dos agregados e, conseqüente exposição da matéria orgânica, proporcionando menores teores de COT no solo (LOSS et al., 2015). Com base nisso pode-se afirmar que o SSD é capaz de, por meio da proteção da MO

pela ausência do revolvimento, e constante deposição de material vegetal ao solo favorecer o aumento dos teores de COT presentes no solo, principalmente nas camadas superficiais (ROSA et al., 2011).

Tabela 1 – Teores médios para carbono orgânico total (COT), e carbono das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (HU) em solo sob cultivo de plantas de cobertura de inverno em diferentes camadas de avaliação

Tratamentos	COT	AF	AH	HU
		0,0 – 0,20 m		
----- g kg ⁻¹ -----				
Aveia preta	25,02 ^{ns}	2,91 ^{ns}	1,73 ^{ns}	8,65 ^{ns}
Nabo forrageiro	25,49	2,92	1,73	8,78
Ervilha forrageira	26,92	2,57	1,73	8,69
Aveia + Nabo	30,07	3,62	2,21	10,18
Aveia + Ervilha	26,72	3,59	1,73	11,32
Testemunha	23,53	3,35	2,16	10,39
DMS	9,71	1,34	0,89	5,32
CV (%)	25,28	18,43	20,54	23,93
----- g kg ⁻¹ -----				
0,20 – 0,40 m				
Aveia preta	21,09 ^{ns}	3,08 ab	1,37 ^{ns}	7,27 ^{ns}
Nabo forrageiro	14,85	3,08 ab	0,88	5,57
Ervilha forrageira	19,67	2,27 b	0,68	8,35
Aveia + Nabo	17,11	3,77 a	1,66	7,05
Aveia + Ervilha	21,87	2,79 ab	1,22	6,61
Testemunha	14,32	3,00 ab	0,88	8,15
DMS	10,54	1,46	1,02	5,14
CV (%)	30,37	21,25	39,92	31,24

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo. DMS: Diferença mínima significativa. CV (%): coeficiente de variação.

Foi observado efeito significativo ($p < 0,05$) entre as plantas de cobertura na camada de 0,20 – 0,40 m para a fração AF, onde o tratamento com cultivo de ervilha foi que obteve o menor teor (2,27 g kg⁻¹), diferindo do consórcio de aveia + nabo forrageiro, sendo os demais tratamentos semelhantes entre si (Tabela 1). O efeito significativo encontrado na fração AF para o tratamento com consórcio de aveia + nabo pode estar relacionado a tendência do consórcio em promover um maior EA levando ao aumento do teor de AF. Para as demais frações húmicas (AH e HU) não foi observado diferenças significativas em nenhuma das camadas avaliadas.

Corroborando os resultados encontrados neste trabalho, Cannelas e Santos (2005) avaliando as frações AF e AH em diferentes classes de solos e anos de avaliação, também observaram diferença entre os valores de AF na camada mais profunda. Martins, Coringa e Weber (2009) trabalhando com sistema agrosilvipastoril, agroflorestal e pastagem, na região mato-grossense, município de Juruena, também observaram maior teor de AF na camada mais profunda de avaliação, e relacionaram isso ao fato dessa fração possuir alta mobilidade no perfil do solo, devido a sua alta solubilidade.

Ribeiro (2016) não verificou diferença estatística para AF trabalhando com plantas de cobertura em Latossolo Vermelho distrófico típico no Distrito Federal, porém encontraram diferença entre AH, onde o tratamento com feijão-bravo teve o maior teor de AH quando comparado com sorgo, braquiária e feijão guandu no verão. Em estudo realizado por Santos et al. (2014), utilizando plantas de cobertura das famílias *Poaceae* e *Fabaceae* também observaram aumento da fração de AH no período avaliado. A deposição de resíduos vegetais favorece o aumento na concentração de AH, porém seu processo de biodegradação torna-se mais lento no inverno, devido as baixas temperaturas proporcionarem redução na degradação das frações da MO, tornando a transformação de AF para AH mais lenta nesse período (SANTOS et al. 2014), o que pode explicar o fato de não se obter aumento significativo de AH neste trabalho.

Foram verificados para COT e HU maiores teores na camada mais superficial de avaliação, sendo sua representatividade superior aos teores de AF e AH), o que leva a maior retenção da umidade, melhor agregação do solo e maior retenção de cátions com o passar dos anos, características estas de grande importância quando se trata do cultivo de sistemas sustentáveis de produção (SOUZA; MELO, 2003).

O pequeno período de condução do trabalho pode explicar o porquê de não haver diferença entre os tratamentos para HU, pois essa fração está ligada aos minerais e a quantidade de argila presente no solo; sendo bastante resistente à degradação microbiana no interior dos microagregados, o que proporciona maior proteção física (GRINHUT; HADAR; CHEN, 2007) e pelo alto teor de argila do solo lhes garante maior resistência aos processos de decomposição (FAVORETTO et al., 2008).

Da mesma forma como em diferentes sistemas de manejo, Leite et al. (2015), trabalhando com o fracionamento da MOS em área degradada em processo de recuperação com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) afirmam que o estado de degradação observado na área e o pouco aporte de biomassa, muito provavelmente devido ao pouco tempo de adoção do sistema, não proporcionaram aumentos significativos nos teores de HU.

Apesar disso, Campos et al. (2013) avaliando sistema de semeadura direta por cinco e nove anos além do sistema convencional de cultivo, afirmam que com o SSD os teores de carbono tornam-se maiores, e proporcionam um aumento da fração HU, decorrente principalmente da maior entrada de resíduos vegetais e menor perda por erosão do solo, proporcionada após o sistema estar estabelecido por maior período de tempo.

Diferindo dos resultados encontrados neste trabalho Rossi et al. (2011), trabalhando com soja cultivada sob palhada de braquiária e sorgo em Latossolo Vermelho no Cerrado goiano, verificaram maior acúmulo de carbono na fração HU no cultivo de braquiária e soja em sucessão, sob SSD.

Para o extrato alcalino (EA) houve diferença entre os tratamentos utilizados nas duas camadas avaliadas, sendo que o tratamento com aveia + nabo foi o que obteve maior valor quando comparado com o tratamento com ervilha forrageira em monocultivo (Tabela 2). O EA é bastante solúvel e maior teor encontrado no consórcio de aveia + nabo em relação a ervilha forrageira pode relacionar-se ao fato do consorcio levar a decomposição rápida do nabo pela liberação de C proporcionada pela aveia, fazendo com que aumente-se o teor de EA nesse tratamento (CAMPOS et al., 2013).

Já para as relações AH/AF e EA/HU não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das camadas avaliadas (Tabela 2). A relação AH/AF indica o grau de conversão do carbono orgânico insolúvel presente no solo em frações solúveis, sendo que em geral, tanto o EA como a relação AH/AF tendem a ser maiores em solos arenosos, em razão da menor proteção da MO pelo menor teor de argila facilitar os processos de decomposição e degradação da MOS (MARTINS; CORINGA; WEBER, 2009).

A relação EA/HU indica o potencial de estabilidade da matéria orgânica do solo, onde valores próximos e/ou menores que 0,50 são indicativo de forte estabilidade da MO e presença

de altos teores de HU no solo, sendo que em solos com elevado teor de argila esses valores tendem a ser menores (FONTANA et al., 2010).

Tabela 2 – Extrato alcalino (EA), relação ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF), e relação extrato alcalino/humina (EA/HU) sob plantas de cobertura de inverno em diferentes camadas de avaliação.

Tratamentos	EA (g kg ⁻¹)	AH/AF	EA/HU
		0,0 – 0,20 m	
Aveia preta	4,64 ab	0,59 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Nabo forrageiro	4,66 ab	0,60	0,57
Ervilha forrageira	4,21 b	0,66	0,49
Aveia + Nabo	5,83 a	0,65	0,60
Aveia + Ervilha	5,32 ab	0,48	0,51
Testemunha	5,51 ab	0,69	0,58
DMS	1,39	0,49	0,31
CV (%)	16,09	16,09	24,25
		0,20 – 0,40 m	
Aveia preta	4,46 ab	0,46 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Nabo forrageiro	3,96 ab	0,28	0,77
Ervilha forrageira	2,95 b	0,32	0,36
Aveia + Nabo	5,43 a	0,43	0,84
Aveia + Ervilha	4,02 ab	0,48	0,63
Testemunha	3,87 ab	0,29	0,56
DMS	1,96	0,35	0,52
CV (%)	20,71	25,28	35,44

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo. DMS: Diferença mínima significativa. CV (%): coeficiente de variação.

Observando os resultados obtidos para relação AH/AF (Tabela 2) pode se dizer que a MOS encontra-se ainda em fase de transição, com evolução limitada, a qual pode estar relacionada a condições edáficas e manejo do solo (LABRADOR MORENO, 1996). Pela maior presença de AF no solo essa MOS é facilmente decomposta, mostrando a necessidade de maiores adições de MOS, para melhorar sua qualidade, elevando os valores da relação AH/AF, que é um indicador de qualidade da MO, sendo o carbono da fração AF a menos evoluída e mais instável da MOS (ROSA et al., 2017).

Pfleger; Cassol, Mafra (2017) afirmam que as relações AH/AF quando apresentam valores acima de um, indicam que as áreas estão em estado transformado da matéria orgânica

do solo pelo processo de humificação, tornando-se mais estáveis. De acordo com Canellas et al. (2002) a relação AH/AF representa uma importante característica da matéria orgânica e de sua estabilidade, inclusive como um indicador da qualidade do solo.

Em solos onde ocorre maior retirada de material vegetal, como nas áreas onde é realizada silagem, é normal o conteúdo de MOS ser reduzido, devido à grande exportação causada por essa atividade, o que dificulta a melhoria e aumento da estabilidade da MOS, pois o insipiente vegetal depositado é rapidamente consumido pelos microrganismos, não permitindo que ocorra a estabilização em curto período de tempo, o que leva a maior presença de AF em relação a AH (WENDLING et al., 2005).

Em ambientes tropicais compostos por solos de fertilidade natural baixa, altamente intemperizados, diminui consideravelmente a intensidade dos processos de humificação, o que determina o baixo valor para relação AH/AF, menor que um (CANELLAS et al., 2003), os quais corroboram os valores encontrados neste trabalho.

Nas figuras 2 e 3 estão representadas em porcentagem quanto de cada fração húmica e de carbono não humificado presente no solo, em relação ao teor de COT. Com relação às frações químicas da MOS, houve predomínio da fração humina (HU) em relação às frações de ácido fúlvico (AF) e húmico (AH). Em solos tropicais estudo realizado por Assis et al. (2006) demonstra uma tendência do predomínio do carbono na HU, isso porque em solos oxídicos (Latosolos) estas substâncias são resistentes à degradação microbiana, e fortemente combinada à fração mineral do solo (STEVENSON, 1994; SPARKS, 2001).

Para a camada de 0,0 – 0,20 m observa-se que a HU predominou em todos os tratamentos utilizados, sendo a maior parte do COT presente solo, variando de 32 a 45% na camada superficial (Figura 1). Esse fato está relacionado à sua maior estabilidade impedir que

ocorra biodegradação, principalmente devido à presença de complexação de íons metálicos ou argilo húmicos estáveis (FONTANA et al., 2006; BARRETO et al., 2008).

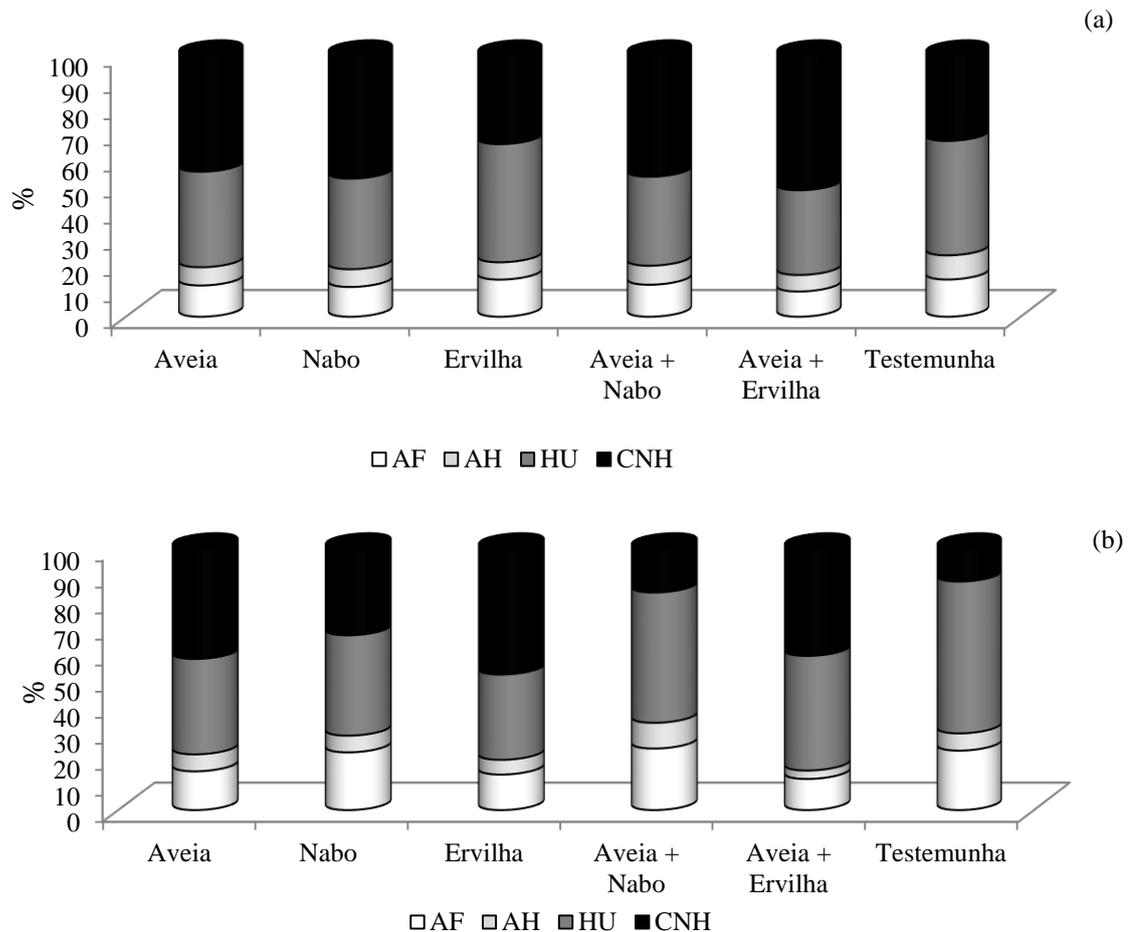


Figura 1. Distribuição em porcentagem do carbono das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU) e carbono não humificado (CNH), após plantas de cobertura de inverno, no Oeste do Paraná, camada 0,0 - 0,20 m (a) e 0,20 - 0,40 m (b).

Segundo Fontana et al. (2006) outro fato que explica a menor representatividade de AF e AH com relação a HU é a maior susceptibilidade dessas frações em serem biodegradadas e também moverem-se mais facilmente para as camadas mais profundas do perfil do solo. Diversos autores encontraram, em trabalhos avaliando diferentes tipos de manejo em solos variados, maiores representatividades de HU, corroborando os resultados deste trabalho (LEITE et al., 2003; BARRETO et al., 2008; ROSSI et al., 2011; ROSSET et al., 2016).

Para a camada de 0,20 – 0,40 m nota-se aumento na representatividade, principalmente para os AF que variavam de 9 a 14% na camada superficial (Figura 1) e passam a ter representatividade de 11 a 23% na camada subsuperficial (Figura 1), fato esse que comprova a tendência de mobilidade dos AF para as camadas mais profundas do solo, tendo sua composição reduzida na camada superficial (LEITE et al., 2003; ROSSET et al., 2016).

Para o carbono não humificado (CNH) observa-se maiores valores na camada superficial do solo com média de 42,5% (Figura 1) contrapondo o valor encontrado na camada subsuperficial de 32,5% (Figura 1), o que se deve a maior concentração de material vegetal depositado sobre a superfície; e também porque em profundidade, o grau de humificação da matéria orgânica no plantio direto apresenta um gradiente crescente, indicando que a MOS é mais recalcitrante quanto mais distante da superfície do solo (FAVORETTO et al., 2008), corroborando com o resultado encontrado neste trabalho, onde o CNH é menor na camada subsuperficial estudada.

Com o incremento de MO pelo SSD e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, a decomposição do material vegetal depositado no solo é mais lenta, o que proporcionará, ao longo do tempo, o favorecimento e o aumento da estabilidade da MOS (ROSSET et al., 2016) e proporcionará maior retenção de umidade e material vegetal no solo, conseqüentemente, promovendo melhorias nos atributos químicos e físicos do solo (GAZOLLA, et al., 2015), com o passar dos anos de cultivo (ANGHINONI, 2007).

Além disso, para a testemunha os valores de CNH são menores (12,52%), fato este, provavelmente ligado a menor retenção de umidade, pela menor quantidade de palhada a MOS se decompôs mais rapidamente. A adição de maiores quantidades de resíduos vegetais ao solo influencia na quantidade de carbono humificado e CNH no solo; o que foi constatado por BAYER, MARTIN-NETO e SAAB (2003) trabalhando com SSD e sistema convencional, observaram que o SSD pelo maior incremento de MO ao solo proporciona redução do grau de humificação de matéria orgânica ao solo em curto período de tempo.

4.6 CONCLUSÕES

O consórcio entre *Fabaceae* e *Brassicaceae* com *Poaceae* resultou em maiores teores de carbono orgânico total no solo em relação ao monocultivo das mesmas.

Para a camada superficial não se observou modificações nas frações químicas da matéria orgânica do solo.

A fração de ácidos fúlvicos apresentou maior teor quando comparado o consorcio de aveia + nabo forrageiro com o monocultivo de ervilha forrageira em subsuperfície.

Houve predomino da fração humina em relação as frações de ácidos fúlvicos e húmicos em todos os tratamentos

Para o carbono não humificado foi observado maiores teores na camada superficial do solo.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. A. de; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Disponibilidade e mineralização do nitrogênio após secessivas aplicações de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 536-544, 2013.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 6, p. 873-928.

ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 10, p. 1541-1550, 2006.

BALDOTTO, M. A, CANELA,. M. C; CANELLAS, L .P; DOBBSS L. B;VELLOSO, A. C. X. Redox index of soil carbon stability. **Revista Brasileira de Ciênciasdo Solo**, v. 34, n. 5, p. 1543-1551, 2010.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1471-1478, 2008.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo Húmico em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 537-544, 2003.

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

BENBI, D. K.; BRAR, K.; TOOR, A. S.; SINGH, P. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v. 237-238, n. 1, p. 149-158, 2015.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Comunicado Técnico**, 7 p., 2003.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P. dos; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, C.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R. et al. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, p. 55-74, 2006.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

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

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 309 p., 2005.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MÉDICI, L.O.; PERES, L.E.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. **In:** CANELLAS, L.P. e SANTOS, G.A. (Ed.). *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243., 2005.

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, n. 2, p. 342-349, 2009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônomo do Paraná (IAPAR), 2000.

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, n. 1, p. 49-54, 2002.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque 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, n. 1, p. 323-332, 2008.

DONEDA A., AITA C., GIACOMINI S. J, MIOLA E. C. C, GIACOMINI DA, SCHIRMANN J., GONZATTO R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M. B. P.; ROSA, J.A.; LEITE, W. C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C. Determination of humification degree of organic matter of an oxisol and of its organo-mineral fractions. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 1994-1996, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n. 3, p.909- 920, 2012.

GRINHUT, T.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: Processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**, v. 21, p. 179-189, 2007.

LABRADOR MORENO, J. **La matéria orgânica en los agrosistemas**. Madri: Ministéria Agricultura, 176 p., 1996.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 717 - 730, 2003.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. de P.; OLIVEIRA, R. A. de; 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, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MARTINS, E. de L.; CORINGA, J. do E.S.; WEBER, O.L. dos S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 655-660, 2009.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T. de; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos Físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 414 - 420, 2012.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 1, p. 2821-2829, 2008.

PEREIRA, M. F. S.; NOVO JÚNIOR, J.; SÁ, J. R. de; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. de S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013

PFLEGER, P.; CASSOL, P. C.; MAFRA, A. L. Substâncias húmicas em Cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 807-817, 2017.

PICOLI, L. R. **Transição agroecológica: os casos da Ecovale e da Coopaecia – RS**. Dissertação de mestrado. Santa Cruz do Sul, p. 140, 2013.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, vol. 7, n. 5, 2011.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M. dos; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. da S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 43 - 50, 2011.

RIBEIRO, L. R. P. **Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho**. 2016. 53 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, 2016.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M.; MACHADO, S. R. C. Action of dwarf mucuna, pigeon pea and stylosanthes on weeds under field and laboratory conditions. **Interciencia**, v. 36, n. 11, p. 841-847, 2011.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P. de; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA**. 2.ed. Brasília: Embrapa, p. 305- 320, 2012.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); 353 p., 2013.

SANTOS, I. L.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. D. de; FIGUEIREDO, C. C. de; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. de. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1874-1881, 2014.

SILVA, L. M. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na agricultura**, v. 14, n. 3, p. 13-24, 1999.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.7 6, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**. v. 79, n. 1, p 7-31, 2004.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, 2003.

SPARKS, D. L. Elucidating the fundamental chemistry of soils: Past and recent achievements and future frontiers. **Geoderma**, v. 100, n. 3-4, p. 303-319, 2001.

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

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. **In**: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, p. 1011-1020, 1996.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487 - 494, 2005.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZECH, Z.; SENESI, N.; GUGGNEBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1, p. 69-116, 1997.

5 CAPITULO 3: PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA

5.1 RESUMO

O uso da adubação verde antecedendo o cultivo de culturas comerciais promove benefícios as mesmas, e também a qualidade do solo. O trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de grãos de soja em sucessão a plantas de cobertura cultivadas no inverno, além da avaliação das propriedades físicas macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds) e estabilidade de agregados por meio das variáveis índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) após o cultivo da cultura da soja. O experimento foi realizado no município de Quatro Pontes – PR, com delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se da cultura da soja semeada sobre palhada das diferentes plantas de cobertura: aveia preta, aveia preta + nabo forrageiro, nabo forrageiro, aveia preta + ervilha forrageira, ervilha forrageira e testemunha (pousio). Foram observadas diferenças significativas para as avaliações às propriedades físicas do solo macroporosidade e densidade do solo. Para a profundidade de 0,10 m a maior Ma foi observada na área com palhada de aveia e aveia + nabo. Para as demais profundidades todas as plantas de cobertura foram superiores a testemunha. Os tratamentos com plantas de cobertura foram eficientes em reduzir a RP do solo. Quanto a agregação do solo o tratamento com ervilha foi superior a testemunha para DMP. Para os componentes de produção houve diferença para massa de 1000 grãos onde os tratamentos com soja semeada após consórcio obtiveram maior massa, bem como maior produtividade. As plantas de cobertura tendem a favorecer a boa estruturação e qualidade do solo, proporcionando também aumento na produtividade da cultura da soja.

Palavras-chave: Adubos verdes, *Glycine max* L., agregados do solo.

5.2 ABSTRACT

The use of green manure prior to the cultivation of commercial crops promotes the same benefits, as well as soil quality. The objective of this work was to evaluate the yield of soybean grains in succession to cover crops grown in the winter, besides the physical properties of macroporosity, microporosity, total porosity, soil density and aggregate stability (IEA, DMG, WMD). the cultivation of soybean crop. The experiment was carried out in the municipality of Quatro Pontes - PR, with a randomized complete block design with six treatments and four replications. The treatments consisted of the soybean crop sown on straw of the different coverage plants: black oats, black oats + forage turnip, forage turnip, black oat + forage pea, forage pea and control (fallow). The components of production for soybean crop and their productivity were evaluated, as well as the physical properties of the soil. For the production components, there was a difference for the mass of 1000 grains where the treatments with soybean seeded under consortium obtained higher mass, as well as higher productivity; significant differences were observed for the physical properties of the soil macroporosity and soil density; For the depth of 0.10 m only treatments of soybean seeded on turnip and oat + pea did not obtain M_a superior to the control; for the other depths all treatments were superior to the control; the treatments with cover plants were efficient in reducing the RP of the soil. Regarding soil aggregation, pea treatment was superior to control for DMP; The cover plants tend to favor good soil structure and quality, also providing an increase in soybean crop productivity.

Keywords: Green fertilizers, *Glycine max* L., soil aggregates.

5.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) vem se destacando no setor agrícola devido a sua grande importância econômica, destacando-se como uma das *commodities* brasileiras que contribuem para alavancar o crescimento da agricultura no país (BRACALIÃO; MORAES, 2008). De acordo com levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento a soja

apresentou um crescimento na área plantada de 1,9%, comparado com o observado na safra anterior, e uma produção de 113,9 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

No Paraná, a área plantada com a oleaginosa na safra 2016/2017 totalizou 5.249,6 mil hectares, com produtividade média 3.721 kg ha^{-1} , sendo que a produção total foi 16% maior que a safra 2015/2016 (CONAB, 2017). Apesar de um aumento da produção da cultura, sabe-se que o monocultivo vinculado a um cultivo inadequado das áreas agrícolas vem levando a um processo de degradação e conseqüente redução da capacidade produtiva dessas áreas (GOMIDE et al., 2011). Tendo em vista isto, é necessário que se faça uso de práticas conservacionistas de cultivo, que auxiliam na preservação dos recursos naturais e ainda favoreçam a cultura sucessora (BLAINSKI et al., 2008), proporcionando resultados satisfatórios em produção, sem prejudicar a qualidade do solo.

Para auxiliar na reversão do processo de degradação física dos solos, bem como evitar perdas de produtividade das culturas, são recomendadas várias práticas de manejo do solo, como sistema semeadura direta (SSD), adubação verde, consorciação, rotação de culturais, dentre outras (SANTOS et al., 2008).

O uso da adubação verde é capaz de auxiliar na recuperação do solo, melhorando as condições físicas, químicas e biológicas, permitindo assim que a cultura comercial apresente bom desenvolvimento, além de proporcionar cobertura suficiente ao solo para que o SSD se consolide (SUZUKI et al., 2007). Os resíduos culturais deixados pelas plantas de cobertura no solo proporcionam a melhoria ou manutenção das propriedades químicas (CASALI et al., 2016) e físicas, dando destaque para estabilidade de agregados e porosidade do solo além das propriedades biológicas (MORAES et al., 2016).

Os benefícios provenientes da adubação verde podem ser atribuídos principalmente ao aumento da matéria orgânica no sistema produtivo, pois a mesma protege o solo do impacto direto da gota d'água, diminuindo os riscos de erosão e ainda aumentando a capacidade de infiltração, favorecendo a redução da densidade do solo, melhoria da aeração e a drenagem do solo (DIAS; MACIEL; ANUNCIACÃO, 2011) o que leva a uma melhor condição para as culturas sucessoras se desenvolverem.

Outro fator limitante para o desenvolvimento das culturas é a degradação da estrutura do solo, a qual devido ao uso intensivo acaba levando a uma desagregação das partículas e,

consequentemente, causará restrição no crescimento das raízes acarretando mal desenvolvimento da cultura e diminuição de produtividade (PEDROTTI et al., 2001).

As plantas de cobertura e rotação de culturas promovem a estabilidade da produção de grãos devido à quebra do ciclo de pragas e de doenças, além dos benefícios na ciclagem de nutrientes, pois são cultivadas espécies com diferentes sistemas radiculares, bem como trás melhoria das condições físicas do solo destacam-se entre vantagens do uso de sistemas apropriados de rotação de culturas (SILVA et al., 2007).

Portanto, sistema que auxiliem ou conservem a agregação do solo, como o SSD, devem ser priorizados, e para que o mesmo seja consolidado a presença de cobertura no solo é essencial, sendo uma das premissas básicas do SSD, cobertura essa que pode ser mantida por meio do uso de adubos verdes no inverno, que irão preceder a cultura de verão.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade da soja cultivada após plantas de cobertura no inverno em monocultivo e consorciadas, e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes camadas.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A localização e caracterização da área de estudo está apresentada no item 3.4.1 do Capítulo I (pág. 16). Anteriormente a implantação do experimento, a área foi cultivada com diferentes plantas de cobertura no período de inverno.

5.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados

A implantação das culturas de inverno foi realizada mecanicamente e foram utilizados 45, 15 e 80 Kg ha⁻¹ de semente, respectivamente para ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) cultivar IAPAR 83, nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cultivar IPR 116 e aveia preta (*Avena strigosa* S.) cultivar EMBRAPA 139. Já para o consórcio do nabo forrageiro com a aveia preta e de ervilha forrageira com aveia preta, foi utilizado 5 e 30 kg ha⁻¹, 25 kg e 30 kg

ha⁻¹ de sementes, respectivamente. Não foi utilizada nenhuma adubação de base. Não foi utilizada nenhuma adubação de base e/ou de cobertura.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50 m². Após o manejo das plantas de cobertura, as parcelas foram semeadas com a cultura da soja sobre as diferentes biomassas. À área útil da parcela foi calculada descartando 0,50 m de cada extremidade e 0,45 m de cada uma das laterais, totalizando 40,5 m².

Durante a condução do experimento os dados pluviométricos foram coletados, sendo apresentados na Figura 1. Conforme verifica-se o regime pluviométrico manteve-se favorável ao pleno desenvolvimento tanto das plantas de cobertura como da cultura da soja em sucessão, não havendo períodos de estiagem durante a condução do experimento.

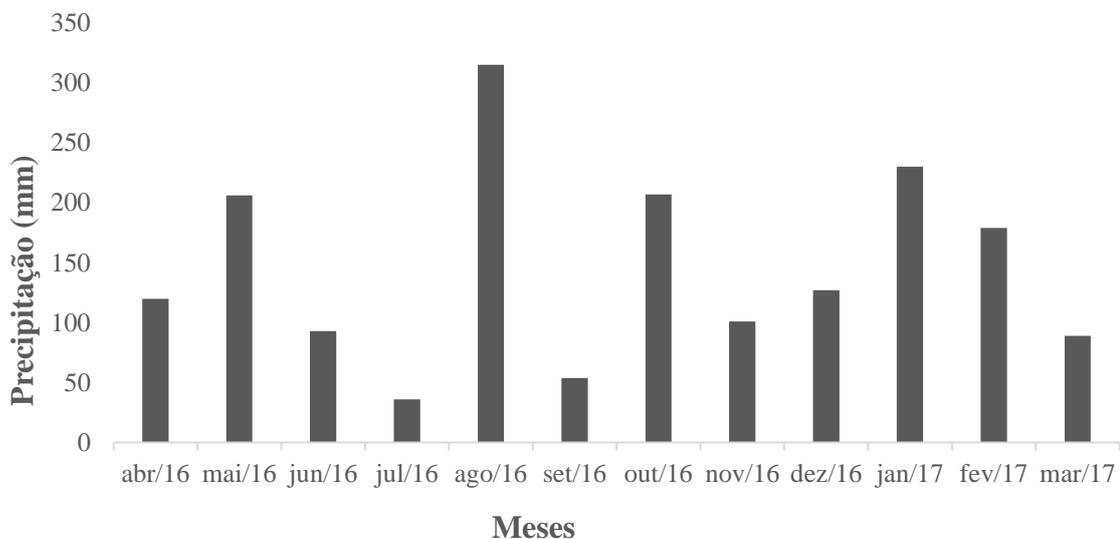


Figura 1 - Precipitação acumulada mensal durante o período de condução do experimento.
Fonte: Cooperativa Agroindustrial Copagril, Quatro Pontes – PR, 2018.

Aos 100 dias após a semeadura, efetuou-se o manejo das plantas de cobertura utilizando 2,75 kg ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato.

5.4.3 Implantação do experimento, coletas e análises

A implantação da cultura da soja foi realizada mecanicamente no dia 23 de setembro de 2016, e a cultivar semeada foi a NA 5909 RR (Nidera) em espaçamento de 0,45 m entre linhas com 14 sementes/metro linear, para adubação de base utilizou-se 280 kg ha⁻¹ do formulado 2-20-15. Os tratos fitossanitários foram realizados conforme as necessidades das culturas, sendo utilizado como base as recomendações técnicas da Embrapa. Foi realizado o controle preventivo das doenças fúngicas que afetam a cultura conforme recomendação técnica local.

Antes da maturação da soja, no estágio R6 foram avaliadas duas variáveis: altura de plantas e população de plantas, com 10 repetições por parcela para as duas avaliações. Quando a cultura da soja atingiu o ponto de colheita (estádio R8) realizou-se a colheita e avaliou-se o número de vagens por planta; massa de 1.000 grãos (média da massa de 8 subamostras de 100 grãos em balança de precisão, corrigida para 13 % de umidade) (BRASIL, 2009); e a produtividade (massa dos grãos produzidos na parcela corrigida para 13 % de umidade, estimando-se a produtividade para kg ha⁻¹).

Após a colheita da soja foram coletadas duas amostras de solo indeformadas em cada uma das parcelas para a determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds). Para isso utilizou-se um trado tipo Uhland, com cilindro metálico (Anel de Kopeck) de volume conhecido de 0,50 m³ nas camadas 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m. As análises de Ma, Mi e Pt foram realizadas em mesa de tensão com potencial de -0,006 MPa (sucção leve), e a Ds pela relação entre a massa de solo seco e o volume total do solo coletado (EMBRAPA, 2011).

A resistência do solo à penetração, foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PGL 1020, sendo realizadas cinco determinações por parcela. Os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados a cada 0,05 m de profundidade até 0,40 m. Para o processamento dos dados de resistência à penetração, foi utilizado o Software PenetroLOG. No momento da amostragem, em cada parcela foi retirada uma amostra de solo nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, para

análise da umidade, sendo determinada pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 2011), a qual apresentou em média $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$ de água.

A estabilidade dos agregados via úmida, foi realizada conforme a metodologia descrita por Kiehl (1979) nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, sendo as amostras coletadas com o auxílio de uma pá de corte para a retirada de um monólito de solo com aproximadamente 5 cm de largura.

Para avaliação da estabilidade de agregados foram pesadas amostras de 50 g, que ficaram retidas na peneira de 4 mm, umedecidas com borrifador, colocadas no jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,10 mm, e submetidas à agitação no aparelho de Yooder, durante 15 minutos. Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi retirado, separadamente, com o auxílio de jato d'água, colocado em latas previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa até peso constante (KIEHL, 1979).

Foram determinados o diâmetro médio ponderado (DMP) (KIEHL, 1979) (equação 1) e diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER; ROSENAU, 1986) (equação 2) e índice de estabilidade de agregados (IEA) (SILVA; MIELNICZUK, 1997) (equação 3).

Equações descritas no item 3.4.2 na pág. 18-19 do capítulo I.

5.4.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância considerando nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na avaliação das propriedades físicas do solo após o cultivo da soja em sucessão às diferentes plantas de cobertura de inverno, demonstraram que houve significância para macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds), nas diferentes camadas de avaliação (Tabela 1).

A Ma observada nos tratamentos com palhada de aveia, aveia + nabo e ervilha forrageira obtiveram resultados superiores aos encontrados na testemunha na camada de 0,0 a 0,10 m (Tabela 1). Já para as demais camadas de avaliação todos os tratamentos foram superiores a testemunha quanto a Ma. Esta melhoria ocorre devido ao sistema radicular agressivo e abundante das plantas de cobertura que provocam desarranjos no solo e, ao sofrer decomposição, deixam canais (bioporos) que contribuem para a melhoria da qualidade física do solo (FOLONI; LIMA; BULL, 2006).

A influência da adubação verde sobre as características físicas do solo deve-se também ao fato de as mesmas proporcionarem maior acúmulo de material vegetal aportado ao solo, o que eleva os teores de MOS, e favorece o aumento da estabilidade de agregados, da porosidade e da capacidade de retenção de umidade (GAZOLLA et al., 2015).

Sanchez (2012) em trabalho semelhante observou aumento na Ma nas camadas de 0,10 a 0,20 m, demonstrando que as culturas de inverno atuaram promovendo alterações neste atributo físico do solo, e corroborando os resultados encontrados neste trabalho.

A microporosidade (Mi) do solo e porosidade total (Pt) não apresentaram diferença significativa entre o cultivo da soja sobre as diferentes palhadas, podendo-se afirmar que para que ocorram modificações expressivas nessas propriedades físicas do solo são necessários mais do que um ano de cultivo.

Em solos argilosos, os valores adequados de Pt variam entre 0,43 e 0,52 m³ m⁻³ e são fortemente influenciados pelo tipo de cultivo, vegetação e pela compactação do solo (REINERT; REICHERT, 2006). De acordo com Andrade e Stone (2009) para que o solo apresente boa aeração e retenção de água ele deve apresentar Pt próxima ou acima de 0,50 m³ m⁻³, sendo que 1/3 deve ser de macroporos e 2/3 de microporos, onde valores de Ma inferiores a 0,1 m³ m⁻³ já podem afetar negativamente o desenvolvimento das culturas.

Para Ds observou-se diferença entre os tratamentos nas camadas de 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,30 m; onde o tratamento com aveia e ervilha forrageira destacaram-se por menor valor de Ds, diferindo da testemunha na camada de 0,10 - 0,20 m; já para a camada de 0,20 - 0,30 m todos os tratamentos apresentaram menor valor de Ds quando comparados à testemunha (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados médios para as propriedades físicas do solo com diferentes de plantas de cobertura de inverno e profundidades de avaliação.

Profundidades (m)	Macroporos (m ³ m ⁻³)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,1102 a	0,1032 ab	0,1069 a	0,1125 a	0,1058 ab	0,0990 b
0,10 - 0,20	0,1013 a	0,1030 a	0,1031 a	0,1073 a	0,1031 a	0,0903 b
0,20 - 0,30	0,0999 a	0,0997 a	0,0971 a	0,1012 a	0,0993 a	0,0883 b
0,30 - 0,40	0,0962 a	0,0959 a	0,0956 a	0,0961 a	0,0962 a	0,0825 b
	Microporos (m ³ m ⁻³)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,4325 ^{ns}	0,4353	0,4278	0,4535 ^{ns}	0,4636 ^{ns}	0,4408
0,10 - 0,20	0,4503	0,4407	0,4698	0,4108 ^{ns}	0,4659 ^{ns}	0,4711
0,20 - 0,30	0,4270	0,4551	0,4907	0,4784 ^{ns}	0,4750 ^{ns}	0,4804
0,30 - 0,40	0,4544	0,4655	0,4734	0,4529 ^{ns}	0,4757 ^{ns}	0,4690
	Porosidade total (m ³ m ⁻³)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	0,5427 ^{ns}	0,5411	0,5362	0,5662	0,5705	0,5398
0,10 - 0,20	0,5478	0,5443	0,5729	0,5182	0,5690	0,5612
0,20 - 0,30	0,5286	0,5548	0,5879	0,5797	0,5751	0,5687
0,30 - 0,40	0,5391	0,5509	0,5690	0,5490	0,5718	0,5515
	Densidade do solo (mg m ⁻³)					
	Aveia	Nabo	Ervilha	Aveia + Nabo	Aveia + Ervilha	Testemunha
0,00 - 0,10	1,18 ^{ns}	1,18	1,13	1,19	1,19	1,12
0,10 - 0,20	1,22 a	1,27 ab	1,23 ab	1,25 ab	1,22 a	1,37 b
0,20 - 0,30	1,25 a	1,32 a	1,28 a	1,34 a	1,26 a	1,48 b
0,30 - 0,40	1,25 ^{ns}	1,37	1,27	1,29	1,26	1,35

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo.

Para a camada superficial e para a camada mais profunda de avaliação não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos utilizados (Tabela 1). Para a camada superficial do solo, pode-se em alguns casos, para o SSD encontrar-se valores superiores aos de sistemas convencionais, mas ao longo dos anos, o acúmulo de MOS tende a reduzir essa densidade (STONE; SILVEIRA, 2001), fato esse que pode justificar a camada superficial não ter apresentado diferença entre os tratamentos.

O sistema de semeadura direta realizado de forma contínua pode alterar a densidade do solo nas camadas superficiais, o que poderia prejudicar o bom desenvolvimento das culturas comerciais, porém quando utilizadas plantas de cobertura, devido ao sistema radicular promover descompactação biológica do solo além de favorecer a melhoria da estrutura do solo, a produtividade das culturas acaba sendo favorecida (SILVEIRA et al., 2008) (Tabela 2).

Quanto a resistência do solo à penetração (R_p) constatou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos utilizados para as profundidades avaliadas. Para as profundidades de 0,10 até 0,20 m e para a profundidade de 0,40 m houve diferença entre os tratamentos quando comparados à testemunha (Figura 2).

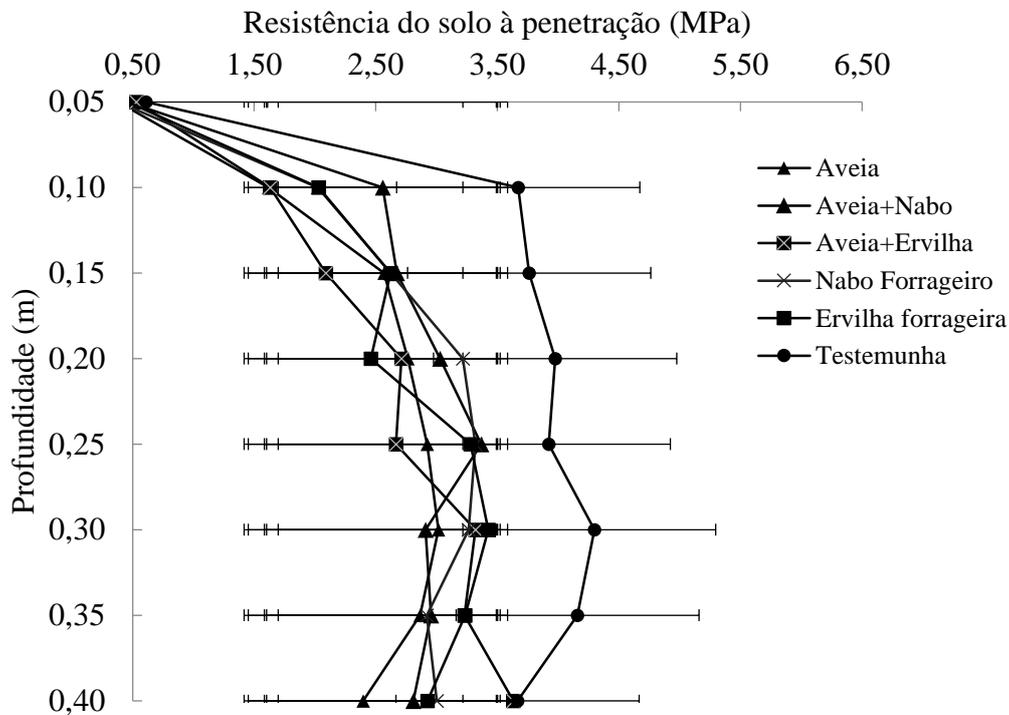


Figura 2 - Resultados médios para resistência do solo à penetração com semeadura de soja após cultivo de plantas de cobertura de inverno em diferentes profundidades de avaliação.

Para a profundidade de 0,10 m nota-se que o tratamento de aveia+nabo em consórcio foi o único que não diferiu da testemunha (Figura 2), fato esse relacionado ao sistema radicular do nabo que causa uma compressão das partículas do solo, causando uma compactação temporária no local, a qual é revertida após a sua completa decomposição.

Nas profundidades de 0,15 e 0,20 m o solo sob palhada de nabo forrageiro em monocultivo e ervilha + aveia em consórcio apresentaram menores valor de R_p (2,09 e 2,46 MPa, respectivamente) diferindo da testemunha (3,76 e 3,97 MPa), conforme ilustrado na Figura 2.

Silva, Tormena e Imhoff (2002) constataram que 2,0 MPa de resistência à penetração do solo foi condição restritiva ao crescimento das raízes e à parte aérea da soja. De acordo com Merotto Jr. e Mundstock (1999), um solo com R_p variando de 1 a 3,5 MPa pode causar danos ao desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das culturas, afetando a sua produção de forma negativa, resultados que podem explicar o menor rendimento da cultura da soja neste trabalho (Tabela 3), principalmente na testemunha, onde os valores de R_p encontram-se acima de 3,5 Mpa (Figura 2).

Para a profundidade de 0,05 m e 0,25 - 0,35 m nota-se que todos os tratamentos se igualaram, não sendo observada diferenças estatísticas entre eles. Para a camada superficial o maior teor de matéria orgânica ameniza o estado de compactação do solo; já para a camada 0,25 - 0,35 m esse fato pode relacionar-se a presença de sistema radicular das plantas de cobertura e da soja que ainda não estavam completamente decompostos, e pode ter influenciado nos resultados.

Para a última camada avaliada, de 0,40 m, observou-se que o cultivo da soja sob palhada de aveia em monocultivo diferiu da testemunha e também do tratamento onde a soja foi cultivada sob palhada de nabo forrageiro.

Com relação a estabilidade de agregados constatou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos estudados. Para a camada de 0,0 - 0,20 m obteve-se diferença entre os tratamentos utilizados, onde a cultura da soja semeada sobre palhada de ervilha forrageira em monocultivo foi a que apresentou maior diâmetro médio ponderado (2,77 mm), sendo o único tratamento que diferiu da soja semeada sobre pousio (testemunha) (2,25 mm).

A utilização de plantas de cobertura antes da semeadura da soja foi capaz de favorecer a agregação do solo (Tabela 2). De acordo com Cunha et al. (2011) o acréscimo sucessivo de

matéria orgânica ao solo (MOS), por meio da adubação verde, favorece a agregação do solo, mantendo a sua estrutura estável e adequada para que haja bom desenvolvimento das culturas. A menor agregação do solo sob pousio está relacionada ao menor acúmulo de matéria orgânica, que favorece a redução da agregação, conforme relatado por Vezzani; Mielniczuk (2011), e pode ser observado na testemunha (Tabela 2).

Santos et al. (2012) verificaram que na camada 0-0,10 m, todas as plantas de cobertura propiciaram maiores valores para DMP, quando comparados com os da camada 0,10-0,20 m, e enfatiza a importância do sistema radicular das plantas no processo de agregação das partículas do solo.

Oliveira et al. (2010) e Portela et al. (2010), encontraram resultados que corroboram os deste trabalho, onde constataram expressiva melhoria na qualidade dos atributos físicos do solo devido ao contínuo aporte de material vegetal ao solo, principalmente por meio das raízes das culturas, sem o revolvimento do solo.

Tabela 2. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) após o cultivo da soja (safra 2016/2017) sob palhada de plantas de cobertura de inverno, em diferentes camadas de avaliação.

Tratamentos	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)
0,0 – 0,20 m			
Aveia	2,36 ab	1,35 ^{ns}	98,64 ^{ns}
Nabo forrageiro	2,72 ab	1,74	98,03
Ervilha forrageira	2,77 a	1,73	98,08
Aveia + Nabo	2,37 ab	1,39	98,26
Aveia + Ervilha	2,47 ab	1,46	99,58
Testemunha	2,25 b	1,20	97,61
0,20 – 0,40 m			
Aveia	2,34 ^{ns}	1,38 ^{ns}	98,89 ^{ns}
Nabo forrageiro	2,62	1,64	98,66
Ervilha forrageira	2,69	1,63	98,78
Aveia + Nabo	2,46	1,37	98,27
Aveia + Ervilha	2,69	1,61	98,47
Testemunha	2,25	1,24	96,87 ^s

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo.

O crescimento radicular satisfatório pode incrementar a matéria orgânica ao longo do perfil do solo, a qual promove a estabilização dos agregados e reduz a susceptibilidade do solo

à compactação (SANTOS et al., 2011), o que garante a sustentabilidade dos sistemas agrícolas ao longo do tempo (LLANILLO et al., 2006).

De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2011) a matéria orgânica possui influência no processo de formação e estabilização dos agregados, sendo que existem estudos que comprovam a correlação entre a matéria orgânica e a agregação do solo, onde quanto maior o teor de MO maior será a estabilidade da estrutura do solo (FONTANA et al., 2010; PORTUGAL et al., 2010).

Os resultados médios para os componentes de produção e produtividade da cultura da soja em sucessão a diferentes plantas de cobertura são apresentados na Tabela 3. Constatou-se que houve efeito da soja semeada sob a palhada das plantas de cobertura cultivadas no inverno para as variáveis massa de 1.000 grãos e produtividade. Para população de plantas, altura de plantas e número de vagem por plantas não houveram diferenças entre os tratamentos.

Pode-se afirmar, com base nos resultados de plantas por metro linear, que as diferentes palhadas não influenciaram na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas de soja. A menor produtividade ($4,25 \text{ Mg ha}^{-1}$) e massa de 1.000 grãos (202,7 g) foi obtida no tratamento testemunha (pousio), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos; mas não houve diferença estatística entre as plantas de cobertura (Tabela 3), sendo esses resultados coerentes, pois a massa de 1.000 grãos está diretamente relacionada com a produtividade total da cultura.

A soja cultivada sob a palhada das plantas de cobertura apresentou uma produtividade superior, de aproximadamente 13%, quando comparada à testemunha (pousio), estando diretamente relacionada à maior massa de 1.000 grãos. A produtividade média observada foi maior que $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, e estão de acordo com as médias obtidas para a região do Oeste do Paraná que fica em torno de 3,8 a $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CONAB, 2017).

A menor produtividade foi na área que no inverno ficou em pousio, igualando-se a área cultivada com nabo forrageiro no inverno ($4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$), já os demais tratamentos foram superiores, porém não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados médios para componentes de produção e produtividade da soja (safra 2016/2017) após cultivo sob diferentes plantas de cobertura no inverno

Plantas de cobertura	NVP	AP	População de plantas por metro	Massa de 1.000 grãos	Produtividade
		—cm—		—g—	—ton ha ⁻¹ —
Aveia	71 ^{ns}	85,3 ^{ns}	11,9 ^{ns}	234,7 ab	4,77 a
Nabo forrageiro	80	75,5	12,1	221,0 ab	4,64 ab
Ervilha forrageira	74	80,1	12,3	257,7 a	4,84 a
Aveia + Nabo	78	77,4	12,2	250,0 a	4,84 a
Aveia + Ervilha	77	75,5	11,6	244,7 a	4,75 a
Testemunha	69	73,4	11,5	202,7 b	4,25 b
DMS	12,63	12,41	1,25	37,60	0,39
CV (%)	7,33	6,94	4,56	6,96	3,72

NPV: Número de vagens por planta; AP: Altura de plantas. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}: Não Significativo.

Em trabalho semelhante Nicoloso et al. (2008), obtiveram maiores produtividades de soja com uso de plantas de cobertura com o consórcio aveia + nabo forrageiro em relação a testemunha; devido principalmente a maior porcentagem de cobertura de solo proporcionada por este consórcio, resultados que corroboram com os encontrados neste trabalho. Entretanto, Debiasi et al. (2010), não encontraram diferença de produtividade do cultivo da soja em sucessão a plantas de cobertura quando comparado a sistema de pousio.

Esses resultados contraditórios encontrados na literatura, demonstram que, com relação a produtividade de soja em função da adoção ou não de plantas de cobertura ainda não se tem nada conclusivo, sendo necessários mais estudos sobre o tema.

De acordo com Amado et al. (2001), o aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão ao uso de plantas de cobertura, proporciona também incremento na adição de resíduos ao solo, acumulando-os na superfície e ocasionando um incremento de MOS, o que favorece a melhoria das propriedades do solo ao longo dos cultivos.

5.6 CONCLUSÕES

A semeadura da soja sobre palhada de plantas de cobertura no inverno mostra-se eficiente, e é capaz de proporcionar aumento na produtividade da cultura quando comparada a soja semeada sobre pousio.

O acúmulo do material vegetal proporcionado ao solo tanto pelas plantas de cobertura como pela palhada da soja após colheita favorece as propriedades físicas do solo, promovendo melhorias na macroporosidade, densidade do solo, resistência à penetração das raízes e também favorecendo a presença de agregados mais estáveis e maiores, melhorando a estrutura do solo e conseqüentemente o desenvolvimento das culturas sucessoras.

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, n. 1, p. 189 - 197, 2001.

ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382 - 388, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p.867-874, 2000.

BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 32, n. 3, p. 975 - 983, 2008.

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 393 - 404, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF, 2009.

CASALI, C.A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J. SANTOS, D. R. dos; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, T. (Ed.) **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, RS: UFRGS, p. 23–33, 2016.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônomo do Paraná (IAPAR), 2000.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.

DIAS, M. M.; MACIEL, A. L. R. de; ANUNCIACÃO, G. da C. F. **Avaliação da fertilidade do solo cultivado com cafeeiro cv. Rubi em consórcio com leguminosas na região sul de Minas Gerais**. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá – MG, 2011.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FONTANA, A.; BRITO, R. J. de; 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, n. 3, p. 291 - 297, 2010.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 567-577, 2011.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 449 - 510, 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, p. 425-442, 1986.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relação solo planta. São Paulo, **Agronômica Ceres**, 422 p. 1979.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. de F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina**, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, 197-202, 1999.

MOARES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHIN, J. C.; SILVA, V. R. da. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In: TIECHER, T. (Ed.) **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, RS: UFRGS, p. 34-48, 2016.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1735-1742, 2008.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R. Compactação de um Argissolo Amarelo Distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 914-920, 2010.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 709-715, 2001.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. de L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 545-553, 2010.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 18 p., 2006.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 59 p. Dissertação de Mestrado, Guarapuava, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 12, p. 335-347, 2008.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1339-1348, 2011.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. da; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); 353 p., 2013.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 p. Tese (Doutorado) - Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, p. 1-18, 2002.

SILVA, A.A.; SILVA, P.R.F.; 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.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; ALVES JR.; J. SILVA, J. G. da. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S. Rendimento do feijoeiro influenciado por sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 121-126, 2007.

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**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

6. CONCLUSÕES GERAIS

O uso plantas de cobertura em monocultivo apresentou menor produtividade de massa seca quando comparada ao cultivo consorciado, onde os consórcios de aveia preta + nabo forrageiro e aveia preta + ervilha forrageira não diferiram estatisticamente. Quando em monocultivo a aveia preta foi a que apresentou menor produção de matéria seca aportada ao solo, sendo apenas superior a testemunha.

A aveia e o nabo forrageiro monocultivadas apresentaram maior macroporosidade que os demais tratamentos na camada superficial. Para densidade do solo a testemunha foi a que obteve maiores valores em todas as camadas avaliadas; já para RP apenas na camada 0-15 m observou-se diferença entre os tratamentos utilizados.

Com relação ao fracionamento da matéria orgânica do solo após o cultivo de plantas de cobertura constatou-se apenas alteração para AF, que é a fração mais instável e facilmente modificada, onde o consorcio de aveia + nabo forrageiro obteve o maior teor de AF quando comparado ao monocultivo de ervilha forrageira.

A estabilidade de agregados após o cultivo de plantas de cobertura não foi alterada, porém em segunda avaliação, após o cultivo da soja houve aumento do DMP para a camada superficial no tratamento com ervilha forrageira quando comparado a testemunha.

O cultivo de plantas de cobertura no inverno, tanto em monocultivo como em consorcio influenciaram na produtividade da soja cultivada em sucessão; além de promoverem aumento na Ma e redução da Rp.

7. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para melhores resultados sobre os benefícios da sucessão de culturas com plantas de cobertura do solo, é necessário um período maior de maior avaliação dos efeitos das plantas de cobertura nos atributos físicos do solo, de sua influência na produtividade das culturas comerciais, como a soja, cultivadas em sucessão, e também no fracionamento químico da matéria orgânica do solo. Somente assim será possível encontrar a (s) espécie (s) mais adequada (s) que proporcione os melhores resultados para material aportado ao solo, qualidade física do solo, qualidade da matéria orgânica e que, conseqüentemente, traga maiores ganhos a cultura comercial, tornando o sistema sustentável.