

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

**MARCOS CESAR MOTTIN**

**EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS NO INVERNO NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E  
MILHO EM SUCESSÃO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2016**

**MARCOS CESAR MOTTIN**

**EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS NO INVERNO NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E  
MILHO EM SUCESSÃO**

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<sup>a</sup>. Edleusa Pereira Seidel

Coorientadores: Dr. Emerson Fey

Dr. Alfredo Richart

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M922e

Mottin, Marcos Cesar

Efeito de plantas de cobertura cultivadas no inverno nas propriedades físicas do solo e na produtividade de soja e milho em sucessão. Marcos Cesar Mottin. Marechal Cândido Rondon, 2016.

52 p.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edleusa Pereira Seidel

Coorientador: Prof. Dr. Emerson Fey

Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Richart

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
Campus de Marechal Cândido Rondon, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Agronomia

1. Adubos verde. 2. *Poaceae*. 3. *Fabaceae*. 4. Solo – Porosidade. 5. Culturas de verão. I. Seidel, Edleusa Pereira, II. Fey, Emerson. III. Richart, Alfredo. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.

CDD 21.ed. 631.452

CIP-NBR 12899

Em memória dos meus avós Avelino Mottin, Elsa Demarchi Mottin e José Pavezzi Primo, pelas grandiosas palavras e gestos sábios que ensinaram no decorrer de suas vidas, os quais são muito importantes na minha vida.

Aos meus queridos pais Algemir João Mottin e Edeli de Fatima Pavezzi Mottin e a minha avó Maria do Carmo Pavezzi que me confortam nos momentos mais difíceis, pela dedicação, apoio, ensino para que eu pudesse dar mais um passo em minha vida e assim estar realizando mais um sonho.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por estar presente em todos os momentos iluminando e guiando os meus passos e dando coragem para vencer todas as batalhas, tornando tudo possível. Sou grato eternamente as suas graças e dons.

Aos meus Pais Algemir João Mottin e Edeli de Fatima Pavezzi Mottin, que nunca mediram esforços perante as dificuldades e crises. Que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando a buscar os meus sonhos. Sei que a vontade de vocês sempre foi a de me proporcionar as melhores coisas do mundo, mas que nem sempre isso é possível, mas saibam que os conselhos, o amor, carinho, atenção o afeto de vocês são as melhores coisas que os pais podem dar aos seus filhos. Agradeço imensamente a cada gesto de vocês em minha vida, a vocês devo a minha vida.

Ao meu grande e inigualável irmão Mateus Cleber Mottin, que através do seu jeito criança, sempre propôs bons momentos, com muita alegria, descontração e com boas risadas.

A minha namorada, amiga, companheira Juliane de Lurdes Comarella pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo. Muito obrigado por estar sempre ao meu lado em todos os momentos de minha vida, sendo eles bons ou não. E também aos pais da minha namorada, Nédio e Célia Comarella, por me apoiar e acolher como filho sempre ajudando nos momentos que mais precisei.

A grande professora, amiga e orientadora Edleusa Pereira Seidel, pela orientação, amizade, confiança, paciência, dedicação e respeito. Muito obrigado pelas cobranças e ensinamentos, dessa forma, contribuindo de maneira imprescindível na minha vida profissional. Muito obrigado pela orientação e convívio durante esses dois anos. Grande exemplo de dedicação, comprometimento e amor com a ciência.

Ao professor, amigo e coorientador Emerson Fey, 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.

Ao professor, amigo e coorientador Alfredo Richart, pela confiança, companheirismo, orientação, ensinamento e cobranças. Muito obrigado por me atender sempre que precisei de sua ajuda e ensinamentos. Muito obrigado pelo ótimo convívio profissional e pessoal durante o período de graduação e agora na Pós-Graduação.

Finalizando a parte de orientação, A vocês meus professores orientadores, amigos e companheiros, Edleusa Pereira Seidel, Emerson Fey e Alfredo Richart, terei sempre junto de mim o exemplo que vocês me passaram de profissionalismo, dedicação, otimismo, determinação e amor pela profissão. Sou e serei sempre grato a vocês. Espero que esse nosso “convívio” dure muito tempo.

Ao meu grande amigo e companheiro André Luiz Alves. Muito obrigado pelo apoio, dedicação, companheirismo, respeito, incentivo e cobrança. Sempre estando a disposição para qualquer ajuda. Muito obrigado por ser um grande amigo, uma pessoa incrível e fantástica. Muito obrigado pela ajuda em todas as etapas desse trabalho.

A minha grande amiga Jaqueline Vanelli pela ajuda com o desenvolvimento desse trabalho. Muito obrigado por sempre estar à disposição para a execução de cada uma das etapas. Muito obrigado pelas dicas, sugestões e críticas, sendo muito importantes para o desenvolvimento do conhecimento.

A Ana Paula Heck Schneider, Monica Sustakowski, Katiely Anschau, Karine Lerner, pela amizade e ajuda na realização de coletas de dados e análises laboratoriais.

Ao Marcelo Gonçalves, pela amizade, companheirismo, apoio e ajuda com os estudos durante o curso.

Aos amigos de turma, pelo companheirismo e trabalho em equipe no decorrer do curso, pois foram de fundamental importância para o desenvolvimento do conhecimento e crescimento profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização deste curso. A todos os professores do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon. Muito obrigado 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.

Ao Núcleo de Estações Experimentais (NEE), por oportunizar o desenvolvimento desta pesquisa, em especial ao técnico Marcelo por colaborar com a implantação e condução do experimento.

As secretárias do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang e Ana Paula Deves Rufino 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 obrigado!!!**

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

(Albert Einstein)

## **BIOGRAFIA**

Marcos Cesar Mottin, nascido em 12 de janeiro de 1991, em Tupãssi, estado do Paraná, filho de Algemir João Mottin e Edeli de Fatima Pavezzi Mottin. Ingressou no curso de Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Estadual de Toledo (CAET), em Toledo - PR, no primeiro semestre do ano de 2006, onde formou-se em 2008. No primeiro semestre de 2009, ingressou no curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), campus de Toledo, onde graduou-se em 2013. Em março de 2014, 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

MOTTIN, Marcos Cesar. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2015. **Efeito de plantas de cobertura cultivadas no inverno nas propriedades físicas do solo e na produtividade de soja e milho em sucessão.** Orientadora: Edleusa Pereira Seidel. Coorientadores: Emerson Fey e Alfredo Richart.

Os sistemas de produção agrícola têm como componente fundamental o solo. Práticas culturais inadequadas associadas ao monocultivo têm causado degradação do solo, dos recursos naturais e da produtividade das culturas implantadas. O presente trabalho teve como objetivos: Avaliar a produtividade de biomassa de plantas de cobertura no outono-inverno (*Poaceae* e *Fabaceae*), e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes profundidades e; Avaliar a produtividade de grãos de milho e soja em sucessão a plantas de cobertura (*Poaceae* e *Fabaceae*) cultivadas no outono-inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com seis repetições. As parcelas foram constituídas de quatro plantas de cobertura no outono-inverno; duas *Poaceae* (aveia preta e braquiária) e duas *Fabaceae* (ervilha forrageira e tremoço branco), sendo as culturas comerciais de verão (milho e soja) cultivadas em sucessão sobre essas diferentes biomassas. As subparcelas foram as diferentes profundidades de avaliações (0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m). Os fatores avaliados nesse trabalho foram: Produtividade de massa seca; índice de cobertura da superfície do solo; volume de macroporos, microporos, porosidade total; densidade do solo; resistência do solo à penetração e os parâmetros de produção e produtividade das culturas comerciais de verão, milho e soja. As plantas da família *Poaceae* apresentaram menor produtividade de massa seca, no entanto, obtiveram maior índice de cobertura da superfície do solo e volume de macroporos. O cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno, promoveu ao solo na profundidade de 0 - 0,05 m, maior volume de macroporos e porosidade total, e menor densidade. A resistência do solo à penetração na profundidade de 0,05 - 0,20 m foi menor na área cultivada com plantas da família *Poaceae*. O cultivo de plantas de cobertura da família *Poaceae* (Aveia preta e braquiária) e *Fabaceae* (Ervilha forrageira e Tremoço branco) no outono-inverno, não influenciaram na produtividade de grãos de milho e soja cultivados em sucessão.

Palavras-chave: Adubos verde, *Poaceae*, *Fabaceae*, porosidade do solo, culturas de verão.

## ABSTRACT

MOTTIN, Marcos Cesar. State University of West Paraná, February 2015. **Effect of cover crops grown in the winter in the soil physical properties and soybean yield and corn in succession.** Advisor: Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisors: Emerson Fey e Alfredo Richart.

The agricultural production systems have as a fundamental component soil. Inadequate cultural practices associated with monoculture has caused soil degradation, natural resources and the productivity of planted crops. This study aimed to evaluate the productivity of biomass cover crops in autumn-winter (*Poaceae* and *Fabaceae*), and its effects on soil physical properties at different depths and; Evaluate the productivity of corn and soybean in succession to cover crops (*Poaceae* and *Fabaceae*) grown in autumn-winter. The experimental design was randomized blocks with split plots with six replications. The plots consisted of four cover crops in autumn-winter; two *Poaceae* (black oats and pasture) and two *Fabaceae* (pea forage and white lupine), and the trade of summer crops (corn and soybeans) grown in succession on these different biomasses. The subplots were different depths reviews (0 - 0.05, 0.05 to 0.10 and 0.10 to 0.15 m). The factors evaluated in this study were: dry matter productivity; soil surface coverage ratio; macroporosity, microporosity, total porosity; bulk density; soil penetration resistance and parameters of production and productivity of commercial summer crops corn and soybean. The plants of the family *Poaceae* had lower dry mass productivity, however, had higher soil surface coverage ratio and macroporosity. The cover crops cultivation in autumn-winter, promoted to the soil in depth from 0 to 0.05 m, higher macroporosity and total porosity, and lower density. The resistance to penetration depth 0.05 to 0.20 m was smaller in area cultivated with plants *Poaceae* family. Growing Family *Poaceae* cover crops (black oats and pasture) and *Fabaceae* (pea forage and white lupine) in autumn-winter, did not influence the productivity of corn and soybean grown in succession.

Keywords: Green fertilizers, *Poaceae*, *Fabaceae*, soil porosity, summer crops.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 REFERÊNCIAS .....	6
3 CAPITULO 1: PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA NO OUTONO-INVERNO .....	13
3.1 RESUMO.....	13
3.2 ABSTRACT.....	13
3.3 INTRODUÇÃO .....	14
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	16
3.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados .....	17
3.4.3 Análises estatísticas.....	18
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.6 CONCLUSÕES .....	27
3.7 REFERÊNCIAS.....	27
4 CAPITULO 2: PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA .....	33
4.1 RESUMO.....	33
4.2 ABSTRACT.....	33
4.3 INTRODUÇÃO .....	34
4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	35
4.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados .....	36
4.4.3 Análises estatísticas.....	38
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.6 CONCLUSÕES .....	42

4.7 REFERÊNCIAS.....	43
5 CONCLUSÕES GERAIS .....	47
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	48
APÊNDICE .....	49

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do milho (*Zea mays* L.) tem grande importância econômica e social, devido a sua múltipla utilização, desde a alimentação animal, sob a forma de grãos ou silagem, até a indústria de alta tecnologia (SANTOS et al., 2010). A importância da cultura soja (*Glycine max*) está na demanda mundial de óleos vegetais, e na capacidade de ofertar proteínas, principalmente na forma de farelo, além das inúmeras aplicações industriais (MOTTA et al., 2002). A cultura do milho cultivado no verão juntamente com a cultura da soja, ocupam aproximadamente uma área de cultivo nacional de 38.249,2 milhões de hectares, ou seja, 65,90 % da área total cultivada no Brasil (CONAB, 2015).

Os sistemas de produção agrícola têm como componente fundamental o solo. Alterações nas propriedades do solo podem afetar a sustentação do crescimento vegetal, e, conseqüentemente o rendimento das culturas, causando impactos negativos direto no produtor rural (SANCHEZ et al., 2014). Portanto, faz-se necessário alternativas sustentáveis que melhoram e/ou mantenham a estrutura física do solo, facilitando o suprimento de água, oxigênio e nutrientes, além do crescimento e desenvolvimento radicular (BLAINSKI et al., 2008).

Práticas culturais inadequadas associadas ao monocultivo têm causado degradação do solo, dos recursos naturais e da produtividade das culturas implantadas (FERREIRA; TAVARES; FERREIRA, 2010; LOSS et al., 2011), gerando uma demanda em estudos para avaliar a qualidade física do solo (LIMA, 2004). A qualidade física do solo, é influenciada diretamente pelo manejo, variando de acordo com a textura, teor de matéria orgânica (M.O), a biomassa vegetal sobre o solo (SILVA et al., 2005) e espécie cultivada.

As propriedades físicas do solo mais amplamente utilizadas como indicadores da qualidade são: resistência do solo à penetração (RP) (PACHECO; CANTALICE, 2011); densidade do solo; porosidade (CARNEIRO et al., 2009; PACHECO; CANTALICE, 2011); e estabilidade dos agregados do solo (SALTON et al., 2008). Modificações nessas propriedades provocam decréscimo da produção agrícola (DAUDA; SAMARI, 2002) e aumento na suscetibilidade do solo a erosão (CANILLAS; SALOKHE, 2002), promovendo a degradação desse solo.

A RP é apontada como um dos fatores limitantes no desenvolvimento e estabelecimento das culturas (RICHART et al., 2005), estando relacionada com diversas

propriedades do solo indicadoras da compactação (RIBON; FIIHO, 2008). O tráfego de forma intensiva das máquinas agrícola é considerado o principal fator da RP (SILVA; DIAS JUNIOR; LEITE, 2011), devido à alteração do meio onde o sistema radicular se desenvolve (MARCHÃO et al., 2007).

A verificação de camadas compactadas é realizado por meio do penetrômetro, que por meio do valor de resistência a penetração, mede a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover no perfil, como as raízes das plantas (ROBOREDO et al., 2010). Possibilitando dessa forma, a identificação de locais com ocorrência de impedimentos físicos ao desenvolvimento radicular (LIMA; LEÓN; SILVA, 2013).

No entanto, não existe um consenso sobre os níveis críticos de RP, assim, vários níveis são apresentados na literatura. A definição dos níveis críticos de RP depende de fatores como a condição estrutural do solo e o comportamento do sistema radicular das culturas (BETIOLI JÚNIOR, 2012). O valor de 2,0 MPa têm sido associado a condições de impedância ao crescimento de raiz e parte aérea das plantas (SILVA; TORMENA; IMHOFF, 2002). Entretanto, em condições de maiores umidade, pode ocorrer o crescimento radicular em RP superiores a 4,0 MPa (DEXTER; WATTS, 2000).

A densidade e porosidade do solo também são utilizadas na avaliação de restrições existentes no desenvolvimento das plantas, e estado estrutural do solo (SPERA et al., 2004); estes são utilizados como parâmetros de confirmação da RP. As propriedades físicas do solo apresentam tendências de mudança, principalmente na macroporosidade e microporosidade do solo, em função do aumento e/ou redução da densidade do solo, condicionadas pela alteração estrutural do solo (SILVA; SILVA; LIBARDI, 2013).

Alterações na porosidade do solo interferem diretamente no sistema de trocas gasosas e disponibilidade de água; sendo os macroporos e microporos, respectivamente relacionadas a esta função. A porosidade é uma propriedade de fundamental importância para o sistema vital das plantas. A degradação da estrutura do solo causa modificações no arrançamento das partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente nos macroporos, afetando a infiltração de água no perfil do solo (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água no solo (PORTUGAL et al., 2008). Redução acentuada nessa propriedade prejudica principalmente o armazenamento de água no solo (FONSECA et al., 2007). O índice muito elevado de microporos, e solo próximo à capacidade de campo, pode resultar em

uma aeração deficiente, dificultando a respiração microbiana e radicular das plantas (WENDLING et al., 2005).

De maneira geral, o valor de  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$  é aceito como limite crítico, da densidade, aumentando com o decréscimo do teor de argila no solo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). Os valores considerados críticos de densidade do solo, são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água e às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (FONSECA et al., 2007).

A estabilidade de agregados do solo tem relação direta com a formação estrutural do solo. O processo de agregação e formação de agregados são importantes para proteção física da M.O; fornecimento de água e oxigênio para as raízes; fornecimento de habitats para macro e microfauna do solo; e formação de poros de maior diâmetro, favorecendo a infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e erosão (MOLITOR et al., 2006).

Diversos fatores interferem na agregação do solo, os principais são: tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos (BASTOS et al., 2005); além do tipo de manejo empregado no solo (NEVES; FELLER; KOUAKOUA, 2006). A matéria orgânica é considerada de fundamental importância na formação de agregados, devido atuar como agente cimentante (FONSECA et al., 2007).

A formação dos agregados segue o modelo hierárquico, sendo os agregados inicialmente formados por partículas primárias livres, unidas por agentes ligantes persistentes; matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos de aluminossilicatos, gerando os microagregados (20 a 250  $\mu\text{m}$ ) (TISDALL; OADES, 1982). Após essa fase, os microagregados estáveis, serão unidos por agentes ligantes de caráter temporário; raízes ou hifas dos fungos, e agentes ligantes transientes; polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas, resultando na formação de macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ); assim os microagregados são classificados como mais estáveis e os macroagregados como menos estáveis, devido a suscetibilidade que possuem em função das atividades agrícolas (TISDALL; OADES, 1982).

Porém, esse modelo foi alterado, sendo proposto que as raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados, por serem ligantes temporários, ao se

decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, originando novos agregados (OADES, 1984).

O aumento da estabilidade dos agregados pela ação da M.O ocorre em função de dois principais mecanismos; o primeiro através da formação de ligações de materiais orgânicos com as partículas minerais ou pela ação física de raízes ou hifas de fungos (CHENU et al., 1994); o segundo através da ação da M.O do solo na diminuição da entrada de água no agregado, reduzindo, assim, sua quebra pela expulsão instantânea do ar (BASTOS et al., 2005). Esse último processo é conhecido como repelência à água ou hidrofobicidade do agregado (SULLIVAN, 1990).

Podemos considerar que agregados mais estáveis, são importantes para o solo obter boa estrutura, promovendo nos espaços internos poros para o desenvolvimento das raízes das plantas, fauna, além da circulação de ar e água. Isso é obtido através de tecnologias, como o sistema de plantio direto (SPD) e rotação de culturas (MACEDO, 2009; MORETI et al., 2007); proporcionando melhoria e manutenção da qualidade dos solos cultivados com esse sistema (AGUIAR et al., 2010).

A ausência de revolvimento do solo, e a contínua deposição de resíduos vegetais na superfície no SPD resulta em redução da degradação (MENTGES et al., 2010). Porém, com o passar do tempo, esse sistema mostrou alterações estruturais devido o tráfego intensivo das máquinas agrícolas (VEIGA et al., 2007), promovendo problemas de compactação subsuperficial na profundidade de 0,08 e 0,15 m de profundidade (SECCO et al., 2009), denominada como “pé-de-plantio direto” (REICHERT et al., 2009).

A fim de eliminar a necessidade de mobilização e preservar a qualidade do solo no SPD, é necessário o uso da rotação de culturas, proporcionando a redução na densidade e aumento da porosidade e estabilidade de agregados do solo (GENRO JUNIOR et al., 2009). A rotação de culturas deve ser realizada com a utilização de plantas de cobertura do solo, que auxiliam na prevenção da compactação (MUZILLI, 2006), e no maior aporte de massa seca (MS), considerada fundamental no SPD. As melhorias nas propriedades do solo podem promover o aumento da produtividade das culturas em sucessão (COSTA et al., 2011).

A princípio, qualquer vegetal pode ser utilizado como planta de cobertura do solo (SANTOS; SEDIYAMA; PEDROSA, 2013). Isso ocorre devido não existir uma planta ideal, em função das vantagens e desvantagens inerentes a cada uma (NOZAKI; VENDRÚSCOLO, 2010).

As plantas da família *Poaceae* são caracterizadas por apresentarem massa seca com decomposição mais lenta, quando comparadas às *Fabaceae* (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Isso ocorre, devido as *Poaceae* possuírem maior relação carbono/nitrogênio, gerando muitas vezes indisponibilidade parcial ou até mesmo total de nitrogênio mineral no solo (KONDO et al., 2012).

As *Poaceae* proporcionam rapidamente melhorias na qualidade física do solo; aumento na porosidade, maior estabilidade de agregados (KONDO et al., 2012), maior descompactação (ROSOLEM et al., 2002), melhor reestruturação da camada arável (FERREIRA; TAVARES; FERREIRA, 2010) e redução na erodibilidade (BLANCHART et al., 2004). Isso ocorre, devido a maior densidade e comprimento radicular (FERREIRA; TAVARES; FERREIRA, 2010), além de sua periódica renovação.

As plantas da família *Fabaceae* são caracterizadas por apresentarem maior estabilização dos agregados em menor período de tempo, maior comprimento de hifas de fungos (HAYNES; BEARE, 1997) e maior produtividade de biomassa (MATHEIS et al., 2006). Apresentam rápida disponibilidade de nutrientes a cultura em sucessão, devido apresentar rápida decomposição, em função da baixa relação carbono/nitrogênio; além de apresentar grande quantidade de nitrogênio em sua biomassa pelo processo de fixação biológica (SANTOS; SEDIYAMA; PEDROSA, 2013).

De maneira geral, as plantas de cobertura do solo tem como vantagem a proteção do solo, contra a incidência direta do sol, da chuva e do vento, reduzindo os processos de amplitude térmica; redução na erosão hídrica; diminuição da taxa de evapotranspiração, mantendo a umidade e favorecendo o desenvolvimento das plantas e organismos do solo (HECKLER; SALTON, 2002). Além disso, favorecem a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas (ARGENTON et al., 2005); proporcionam melhorias na qualidade física, química e biológica; contribuem para o manejo de plantas daninhas e aumento da produtividade das culturas em sucessão (SANTOS; SEDIYAMA; PEDROSA, 2013).

A escolha da planta de cobertura do solo para o cultivo em sucessão é o fator determinante para o sucesso da rotação, pois depende dela os benefícios intrínsecos à cultura em sucessão (MARTINS; ROSA JUNIOR, 2005). Portanto, no momento da escolha devemos optar pela planta que apresenta adaptação as condições do local, boa produção de biomassa, rápida capacidade de estabelecimento (LIMA, 2014), tolerância

ao déficit hídrico (PETTER et al., 2013), melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos (MARTINS; ROSA JUNIOR, 2005).

Dessa forma, é de fundamental importância na sustentabilidade técnica, ambiental e econômica ao setor agropecuário, estudos de sistemas de produção envolvendo rotação/sucessão de culturas, principalmente, visando sensibilizar o produtor rural e a assistência técnica para sua adoção (BRANDT et al., 2006).

A partir do exposto, 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 outono-inverno (*Poaceae* e *Fabaceae*), influenciam nas propriedades físicas do solo e na produtividade das culturas de milho e soja em sucessão?. Para avaliar essa hipótese, a dissertação foi dividida em dois capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo I, intitulado como “Produtividade de biomassa e propriedades físicas do solo após cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno”, teve como objetivo: avaliar a produtividade de biomassa de plantas de cobertura no outono-inverno (*Poaceae* e *Fabaceae*), e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes profundidades.

Capítulo II, intitulado como “Produtividade de grãos de milho e soja em sucessão a plantas de cobertura”, teve como objetivo: avaliar a produtividade de grãos de milho e soja em sucessão a plantas de cobertura (*Poaceae* e *Fabaceae*) cultivadas no outono-inverno.

## 2 REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. A.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BERNADES, T. G.; JESUS, R. P. Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz por meio de alterações físicas do solo. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 142-149, 2010.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação e adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1,

p. 241-248, 2002.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

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

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, ÁLVARO, P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 971-982, 2012.

BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; CHEVALLIER, T.; HARTMANN, C. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 343-355, 2004.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônomico de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil & tillage research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, 2002.

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.

CHENU, C.; GUÉRIF, J.; JAUNET, A.M. Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1994, Acapulco. **Anais...** Acapulco. World. Mexico, 1994. p. 403-410.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Décimo segundo levantamento/setembro 2015, safra 2014/2015. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v. 2, n. 12, p. 1-134. 2015.

COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. G.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob

sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 45, p. 810-815, 2011.

DAUDA, A.; SAMARI, A. Cowpea yield response to soil compaction under tractor traffic on a sandy loam soil in the semi-arid region of northern Nigeria. **Soil & tillage research**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 17–22, 2002.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. **Soil and environmental analysis, physical methods**. New York: Marcel Dekker, p. 401-430, 2000.

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

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and labile organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, Inglaterra, v. 29, n. 11-12, p. 1647-1653, 1997.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: Fundamento do sistema plantio direto**. Coleção sistema plantio direto 7. Dourados: Embrapa Agropecuária, 2002.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, suplemento 1, p. 33-40, 2012.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

LIMA, L. B. Efeito das plantas de cobertura em sistema de plantio direto. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1410-1425, 2014.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16–20, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C.

Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MACEDO, M. C. M. Interação lavoura e pecuária: O estado da arte e inovação tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, Suplemento 1, p. 133–146, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARTINS, R. M. G.; ROSA JUNIOR, E. J. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 225-232, 2005.

MATHEIS, H.A.S.M.; AZEVEDO, F.A.; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 27, n. 1, p. 101-110, 2006.

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**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 315-321, 2010.

MOLITOR, T. A. S.; TORRES, E.; FRANCHINI, J. C. Distribuição de carbono e estabilidade de agregados em amostras indeformadas de diferentes sistemas de rotação de culturas em plantio direto. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 2. 2006, Londrina. **Resumos expandidos**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 75-79.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

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**, Maringá, 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, 2006. 1ª ed., cap.2, p. 9-27.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 36, n. 5, p. 1410–1415, 2006.

NOZAKI, M. D. H.; VENDRÚSCOLO, M. Características químicas e densidade global de um latossolo vermelho eutróferrico cultivado com plantas de cobertura em Toledo-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 1245-1252, 2010.

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

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 403-415, 2011.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M.; PIAULINO, A. C.; XAVIER, Z. F.; SANTOS, J. M.; MIRANDA, J. M. S. Desempenho de plantas de cobertura submetidas à déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, Suplemento 1, p. 3307-3320, 2013.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D'A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico tb distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 249-258, 2008.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HANKANSSON. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

RIBON, A. A.; FIIHO, J. T. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1817-1825, 2008.

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

ROBOREDO, D.; MAIA, J. C. S.; OLIVEIRA, O. J.; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 307-314, 2010.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 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**, Cruz das Almas, v. 26, n. 3, p. 266-275, 2014.

SANTOS, I. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W. Adubação verde no cultivo de hortaliças. **Circular Técnica**, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, v. 1, n. 179, p. 1-6, 2013.

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

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

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERRIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

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, 2002. p. 1-18.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. D. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 547-554, 2011.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, Suplemento 1, p. 3513-3528, 2013.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

SULLIVAN, L.A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. **European Journal of Soil Science**, Montpellier, v. 41, n. 3, p. 529-534, 1990.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **European Journal of Soil Science**, Montpellier, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 104–113, 2007.

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

### **3 CAPITULO 1: PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA NO OUTONO-INVERNO**

#### **3.1 RESUMO**

As espécies que podem ser utilizadas como plantas de cobertura são muitas, o que torna difícil fazer uma escolha, pois não existe uma planta ideal, sendo necessário fazer um levantamento das espécies mais favoráveis. O trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de biomassa de plantas de cobertura no outono-inverno (*Poaceae* e *Fabaceae*), e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes profundidades. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com seis repetições. As parcelas foram constituídas de quatro plantas de cobertura no outono-inverno; duas *Poaceae* (aveia preta e braquiária) e duas *Fabaceae* (ervilha forrageira e tremoço branco). As subparcelas foram as diferentes profundidades de avaliações; 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m para determinar o volume de poros e densidade do solo; e 0 até 0,40 m para resistência do solo à penetração. Foram avaliados: produtividade de massa seca; índice de cobertura da superfície do solo; volume de macroporos, microporos, porosidade total; densidade do solo; e resistência do solo à penetração. Constatou-se que a família de plantas *Fabaceae* apresentou maior produtividade de massa seca, entretanto, o menor índice de cobertura da superfície do solo. O maior volume de macroporos, e a menor resistência do solo à penetração foram constatados no solo cultivado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, na profundidade respectiva de 0 - 0,10 m e de 0,05 - 0,20 m.

Palavras-chave: Adubos verde, porosidade do solo, densidade do solo, resistência à penetração.

#### **3.2 ABSTRACT**

Species that can be used as cover crops are many, making it difficult to make a choice, because there is an ideal plant, it is necessary to survey the most favorable species. The study aimed to evaluate the productivity of biomass cover crops in winter (*Poaceae* and *Fabaceae*), and their effect on soil physical properties at different depths. The

experimental design was randomized blocks with split plots, with six replications. The plots consisted of four cover crops in winter; two *Poaceae* (oats and pasture) and two *Fabaceae* (forage and white lupine pea). The subplots were different depths assessments; 0 - 0.05; 0.05 - 0.10 and 0.10 - 0.15 m to determine the pore volume and bulk density; and 0 to 0.40 m for soil penetration resistance. They were evaluated: dry matter yield; soil surface coverage ratio; macroporosity, microporosity, total porosity; bulk density; and soil penetration resistance. It was found that the family of *Fabaceae* plants showed higher dry matter yield, however, the lowest soil surface coverage ratio. The largest volume of macropores, and the least resistance to penetration were found in soil under *Poaceae* family cover crops in their depth from 0 to 0.10 m and 0.05 to 0.20 m.

Keywords: Green fertilizers, soil porosity, bulk density, penetration resistance.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas são considerados um sistema complexo, em virtude de fornecer as condições favoráveis e necessárias para que as sementes das plantas possam germinar, desenvolver e produzir seus frutos. Diante disso, torna-se necessário e de fundamental importância um ambiente físico favorável para o crescimento e desenvolvimento radicular, a fim de maximizar a produtividade das culturas implantadas. Por tanto, a utilização de manejos que não degradam e/ou melhoram a estrutura do solo tem recebida muita atenção (ARGENTON et al., 2005). Em um sistema produtivo não deve-se priorizar apenas as propriedades químicas, mas também é imprescindível a atenção com as propriedades físicas do solo, tais como: porosidade, resistência à penetração e densidade do solo (BOTTEGA et al., 2011).

O sistema de plantio direto, é uma tecnologia que visa principalmente a melhoria do solo, com objetivo de preservar as estruturas. Todavia, esse sistema quando manejado inadequadamente causa a compactação do solo. A compactação é caracterizada pela redução do volume de poros; redução da taxa de difusão de oxigênio; aumento da densidade; aumento da resistência física e da energia com que a água fica retida no solo (MÜLLER et al., 2001). Esses fatores afetam diretamente o desenvolvimento radicular, e conseqüentemente as outras estruturas da planta, pois a compactação reduz o volume de solo a ser explorado pelas raízes, assim como a quantidade de água, ar e nutrientes disponíveis, limitando a produtividade das culturas.

Diversos são os fatores que promovem a compactação do solo, como a falta de rotação de culturas, redução no aporte de matéria orgânica no solo, o tráfego intensivo das máquinas agrícolas (VEIGA et al., 2007), utilização inadequada dos pneus agrícolas (HÅKANSSON, 2005), realização das operações agrícolas com teores inadequados de água no solo (KLEIN et al., 2008), assim como a lastragem inadequada das máquinas agrícolas em cada tipo de atividade. A compactação é considerada como um dos principais causadores da degradação dos solos agrícolas (CANILLAS; SALOKHE, 2002).

As plantas de cobertura do solo são consideradas uma excelente alternativa para descompactar e melhorar a estrutura do solo, alcançando uma qualidade física satisfatória (SEVERIANO et al., 2010). A utilização de plantas que atuam na descompactação compõe uma importante estratégia de manejo em sistemas intensivos de produção (JIMENEZ et al., 2008). Entretanto, a resposta é dependente da planta cultivada (SANTOS et al., 2012); pois cada sistema radicular apresenta uma capacidade diferenciada de desenvolvimento no solo. No entanto, as plantas de cobertura, que apresentam bom desenvolvimento radicular conseguem atuar de maneira mais uniforme em todas as profundidades do solo quando comparadas aos sistemas mecânicos, contribuindo mais eficientemente para a melhoria do estado de agregação do solo (ROSA, 2013); apresentando dessa forma vantagens sobre o uso de implementos agrícolas, que podem promover desagregação das estruturas do solo.

Além disso, as plantas de cobertura promovem a retirada de nutrientes da subsuperfície, liberando-os gradualmente na superfície durante o processo de decomposição (MENDONÇA et al., 2013); formação de bioporos com ampla variação de tamanho (LIMA et al., 2012) funcionando como rotas alternativas para o crescimento das raízes (WILLIAMS; WEIL, 2004) e aumento no movimento de água e na difusão de gases no solo (MÜLLER et al., 2001). Outra vantagem, é a alta densidade de raízes e sua periódica renovação tornando-se desse modo, importante para a qualidade e sustentabilidade do sistema de produção agrícola.

As espécies que podem ser utilizadas como plantas de cobertura são muitas, o que torna difícil a melhor escolha (FONSECA et al., 2007) pois não existe uma planta ideal, sendo necessário antes da escolha, fazer um levantamento das espécies mais favoráveis (NEGRINI, 2007). Deve-se buscar informações a respeito de sua adaptação ao clima da região, época de semeadura, o ciclo da cultura, desenvolvimento do sistema radicular e produção de massa seca. Desse modo, é necessário que se opte por espécies

de plantas que superem as restrições físicas, bem como, promovam a recuperação da qualidade do solo, principalmente quando submetidas a um sistema intensivo de produção.

As plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* são consideradas mais eficientes em promover a estruturação do solo em relação às *Fabaceae* (LOSS et al., 2015). No entanto, para os primeiros anos de implantação de sucessões de culturas, a maior estruturação do solo ocorre sob o cultivo de plantas da família *Fabaceae* (HAYNES; BEARE, 1997), as quais, promovem ainda a incrementação de nitrogênio no solo (COUTINHO et al., 2010). Contudo, há necessidade de verificar a real contribuição dessas plantas com a finalidade de se manter ou melhorar a estrutura do solo (SILVEIRA et al., 2010).

Desta forma, o trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de biomassa de plantas de cobertura no outono-inverno (*Poaceae* e *Fabaceae*), e seus efeitos nas propriedades físicas do solo em diferentes profundidades.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O trabalho foi realizado na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) no município de Entre Rios do Oeste - PR, localizado nas coordenadas geográficas 24°40'32,66'' de latitude sul e 54°16'50,46'' de longitude oeste, a 244 metros de altitude em relação ao nível do mar. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600 - 1800 milímetros (CAVIGLIONE, 2000). O solo da unidade experimental é classificado segundo Santos et al. (2013) como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado. Anteriormente a implantação do experimento, a área foi cultivada com aveia no período de inverno e milho em sucessão no verão.

Previamente à implantação do experimento, foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo na profundidade de 0 - 0,20 m para a determinação das características químicas e granulométricas. As análises químicas foram realizadas de

acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados apresentados foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 6,05; M.O. = 24,61 g dm<sup>-3</sup>; P = 2,36 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 6,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> = 2,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V (%) = 77,26. Para a determinação granulométrica foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (1997). Os resultados foram: 763 g kg<sup>-1</sup> de argila, 136 g kg<sup>-1</sup> de silte e 101 g kg<sup>-1</sup> de areia.

### 3.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com seis repetições. As parcelas foram constituídas de quatro plantas de cobertura no outono-inverno; duas *Poaceae* (aveia preta e braquiária) e duas *Fabaceae* (ervilha forrageira e tremoço branco). As subparcelas foram as diferentes profundidades de avaliações; 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m para determinar o volume de poros e densidade do solo; e 0 até 0,40 m para resistência do solo à penetração. Cada parcela foi composta por 20,0 m de comprimento e 5,40 m de largura, totalizando 108 m<sup>2</sup>. À área útil de cada parcela foi calculada descartando 1 m de cada extremidade e 0,45 m de cada uma das laterais, totalizando 81,0 m<sup>2</sup>.

A implantação das culturas foi realizada mecanicamente com uma semeadora de parcela no dia 09/05/2014, utilizando 70 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta (*Avena strigosa* S.) cultivar IAPAR 61 Ibiporã; 8 kg ha<sup>-1</sup> de braquiária (*Urochloa ruziziensis*), com valor cultural de 73,06 %; 60 kg ha<sup>-1</sup> de ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) cultivar IAPAR 83 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de tremoço branco (*Lupinus albus* L.). O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,20 m para as *Poaceae* e 0,40 m para as *Fabaceae*. Não foi utilizada nenhuma adubação de base.

Aos 120 dias após a semeadura, efetuou-se a avaliação da produtividade de massa seca das plantas de cobertura. Para essa avaliação foi utilizado um quadrado de amostragem equivalente a 0,25 m<sup>2</sup>, lançado aleatoriamente em cada parcela, e as plantas contidas em seu interior foram cortadas rente ao solo com uma tesoura de poda, sendo tiradas duas amostras por parcela. As amostras de cada tratamento foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa de ventilação forçada de ar com temperatura de 65°C por um período de 72 horas. Ao retirar o material fez se a pesagem determinando a massa seca. Em seguida as plantas de cobertura foram manejadas utilizando 3 kg ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido glifosato.

Após 25 dias do manejo das plantas de cobertura efetuou-se a avaliação do índice de cobertura da superfície do solo. Para isso, utilizou-se uma trena de 10 m de comprimento, a qual era esticada nas duas diagonais de cada parcela. Assim, em cada projeção de 0,10 m sobre a superfície do solo foi avaliada a presença ou ausência da palhada das plantas de cobertura (LAFLEN, 1981).

Também foram coletadas em dois pontos amostras indeformadas de solo em cada uma das parcelas para a determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para isso utilizou-se um cilindro metálico (Anel de Kopecky) de volume conhecido. As amostras foram coletadas nas profundidades entre 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m. As análises de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram realizadas em mesa de tensão com potencial de -0,006 MPa (sucção leve), e a densidade do solo pela relação entre a massa de solo seco e o volume total do solo coletado (EMBRAPA, 1997).

A Resistência do solo à penetração foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PGL 1020, com aptidão eletrônica para aquisição dos dados, sendo realizadas quatro determinações por parcela. O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 0,01 m de incremento de profundidade, trabalhando em velocidade de penetração constante. 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 profundidade de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, para análise do teor de umidade, sendo determinada pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 1997), a qual apresentou em média 0,20 kg kg<sup>-1</sup> de água.

### **3.4.3 Análises estatísticas**

Os dados obtidos 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 Scheffé a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## **3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os contrastes utilizados na comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Scheffé, foram: C<sub>1</sub>: Comparação entre famílias (+1T<sub>1</sub> +1T<sub>2</sub> -1T<sub>3</sub> -1T<sub>4</sub>); C<sub>2</sub>: Comparação dentro da família *Poaceae* (-1T<sub>1</sub> +1T<sub>2</sub>) e C<sub>3</sub>: Comparação dentro da família *Fabaceae* (-1T<sub>3</sub> +1T<sub>4</sub>). Quanto aos contrastes para a comparação das médias das profundidades de avaliação, esses foram: C<sub>4</sub>: Comparação entre a profundidade de 0 - 0,05 m versus as profundidades de 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m (+2P<sub>0 - 0,05</sub> -1P<sub>0,05 - 0,10</sub> -1P<sub>0,10 - 0,15</sub>) e C<sub>5</sub>: Comparação entre as profundidades de 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m (+1P<sub>0,05 - 0,10</sub> -1P<sub>0,10 - 0,15</sub>).

Verificou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) das plantas de cobertura sobre a produtividade de massa seca e índice de cobertura da superfície do solo. Quanto as propriedades físicas do solo, verificou-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para efeito isolado das plantas de cobertura e profundidade de avaliação, bem como a interação desses fatores.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados médios de massa seca e índice de cobertura da superfície do solo em função do cultivo de plantas de cobertura do solo durante o período de outono-inverno.

Tabela 1 - Resultados médios de produtividade de massa seca e índice de cobertura da superfície do solo em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

Tratamento	Massa seca —kg ha <sup>-1</sup> —	Índice de cobertura —%—
		Família <i>Poaceae</i>
Aveia (T <sub>1</sub> )	4.966	87,83
Braquiária (T <sub>2</sub> )	1.110	79,25
Média	3.038	83,54
		Família <i>Fabaceae</i>
Ervilha (T <sub>3</sub> )	4.083	75,50
Tremoço (T <sub>4</sub> )	4.716	61,92
Média	4.400	68,71

Com base na Tabela 2, onde estão apresentados os valores dos contrastes de produtividade de massa seca e índice de cobertura da superfície do solo, verificou-se que a maior produtividade de massa seca foi obtida sob o cultivo de plantas de cobertura da família das *Fabaceae* (Tabela 2). Obtendo uma produtividade média de 4.400 kg ha<sup>-1</sup>; enquanto, as plantas de cobertura da família *Poaceae* obtiveram uma produtividade média de 3.038 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1), ou seja, as *Poaceae* apresentaram uma produtividade de 1.361,5 kg ha<sup>-1</sup> a menos que as *Fabaceae* (Tabela 2). Dessa forma, as plantas da

família *Fabaceae* apresentaram mais de 44 % de massa seca, quando comparadas as plantas da família *Poaceae*.

Ao analisar os resultados encontrados na literatura constatou uma contradição. Para Souza et al. (2013) as *Poaceae* foram as que obtiveram a maior produtividade; enquanto Ziech et al. (2015) não obtiveram diferenças significativas entre essas famílias de plantas. Essas flutuações na produtividade são decorrentes dos fatores fitotécnicos, edáficos e climáticos (KLIEMANN et al., 2003; AMADO et al., 2002).

Tabela 2 – Valores dos contrastes de produtividade de massa seca e índice de cobertura da superfície do solo em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

Contraste	Massa seca	Índice de cobertura
	— kg ha <sup>-1</sup> —	— % —
C <sub>1</sub>	- 1.361,5*	14,83*
C <sub>2</sub>	- 3.856*	- 8,58
C <sub>3</sub>	633	-13,58*

\*: Significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Na avaliação da produtividade de massa seca dentro da família *Poaceae*, verificou-se que a aveia preta apresentou uma produtividade superior a 347 % (Tabela 1) em relação a braquiária, com uma diferença de 3.856 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). Já na família *Fabaceae* não foram observadas diferenças significativas (Tabela 2). Vale ressaltar, que semeadura da braquiária não foi realizada na época mais adequada para o seu desenvolvimento, o que afetou sua produtividade de massa seca (SILVA et al., 2011).

O maior índice de cobertura da superfície do solo foi apresentado sob o cultivo de plantas da família *Poaceae* (Tabela 2). Observou-se um índice de cobertura de 83,54 %; enquanto, as *Fabaceae* apresentaram um índice de cobertura de 68,71 % (Tabela 1), uma diferença de aproximadamente 15 % em termos absolutos (Tabela 2). Isso é explicado pela maior relação C/N que as plantas da família *Poaceae* apresentam quando comparadas às *Fabaceae* (CERETTA et al., 2002). Sendo as *Poaceae* consideradas plantas de maior potencial para a proteção do solo, devido a sua menor taxa de decomposição (ZIECH et al., 2015). Contribuindo para a manutenção da umidade do solo e proteção contra os efeitos erosivos (AITA; GIACOMINI, 2003).

O índice de cobertura da superfície do solo dentro da família *Poaceae* não apresentou diferenças significativas, mas para a família *Fabaceae* foi observada diferenças significativas (Tabela 2). A ervilha forrageira apresentou um índice de cobertura 13,58 % superior ao tremoço branco em termos absolutos; isso ocorre devido

ao hábito de crescimento do tremço branco ser mais ereto em relação a ervilha forrageira (ZIECH et al., 2015).

Na Tabela 3, são apresentados os resultados médios das propriedades físicas do solo em cada uma das profundidades avaliadas, após o cultivo de plantas de cobertura das famílias *Poaceae* e *Fabaceae*. Os resultados dos valores dos contrastes das propriedades físicas do solo, são apresentados na Tabela 4, onde constatou-se maior macroporosidade no solo sob tratamento com as *Poaceae* ( $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e a menor no tratamento com as *Fabaceae*. Por tanto, as áreas cultivadas com *Poaceae* apresentaram 162,5 % a mais de macroporos, quando comparadas às *Fabaceae* (Tabela 3).

Valores de macroporosidade inferior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  podem afetar o crescimento radicular da culturas (SEIDEL et al., 2015). A maior microporosidade do solo ( $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foi observada no tratamento cultivado com as *Fabaceae*, enquanto o menor valor ( $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foi com as *Poaceae* (Tabela 3). Esse comportamento era esperado, pois essa propriedade é inversamente proporcional a macroporosidade do solo (PICKLER et al., 2012).

Os efeitos das diferentes plantas de cobertura sobre a macroporosidade e microporosidade do solo, pode ser atribuído as diferentes formas das estruturas radiculares de cada uma das famílias, sendo nas *Poaceae* o sistema radicular é do tipo fasciculado e nas *Fabaceae* pivotante. Portanto, o sistema radicular do tipo fasciculado promoveu maior volume de macroporos em função da melhor agregação do solo (KONDO et al., 2012). Resultados contrários foram relatados por Fidalski e Tormena (2007) que obtiveram maior macroporosidade no solo após o cultivo das *Fabaceae* em relação as *Poaceae*. Os autores justificam esse resultado em função da decomposição das sementes, e o maior volume de microporos nas *Poaceae* pela produção de raízes muito finas.

Na interação entre as famílias de plantas de cobertura e as profundidades avaliadas, foram observadas diferenças significativas (Tabela 4). A macroporosidade nas *Poaceae*, nas profundidades de 0 - 0,10 m, apresentaram superioridade sobre as *Fabaceae*. Dessa forma, verificou-se que as *Poaceae* apresentam melhor resultado como condicionantes da agregação do solo e formação de macroporos, pois estas propriedades estão diretamente relacionadas (EDEN et al., 2011).

Tabela 3 - Resultados médios das propriedades físicas do solo em diferentes profundidades de avaliação em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

Tratamento	Macroporos			Microporos			Porosidade total			Densidade		
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15
						$m^3 m^{-3}$			$Mg m^{-3}$			
<i>Família Poaceae</i>												
1 Aveia	0,18	0,12	0,08	0,40	0,40	0,42	0,57	0,53	0,51	1,13	1,22	1,30
2 Braquiária	0,19	0,12	0,08	0,37	0,41	0,43	0,57	0,55	0,50	1,17	1,30	1,37
Média		0,13			0,40			0,54			1,25	
<i>Família Fabaceae</i>												
3 Ervilha	0,10	0,07	0,05	0,49	0,47	0,51	0,59	0,54	0,56	1,22	1,30	1,47
4 Tremoço	0,10	0,10	0,06	0,45	0,44	0,44	0,55	0,54	0,51	1,16	1,23	1,35
Média		0,08			0,47			0,55			1,30	

Tabela 4 - Valores dos contrastes das propriedades físicas do solo em diferentes profundidades de avaliação em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

Contraste	Macroporos			Microporos			Porosidade total			Densidade		
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15
						$m^3 m^{-3}$			$Mg m^{-3}$			
C <sub>1</sub>	0,08*	0,03*	0,02	-0,08*	-0,05	-0,05*	0,00	0,00	-0,03	-0,04	0,00	-0,07
Média		0,05*			-0,07*			-0,01			-0,05	
C <sub>2</sub>	0,01	0,00	0,00	-0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	-0,01	0,04	0,08	0,07
Média		0,00			-0,00			0,00			0,06	
C <sub>3</sub>	0,00	0,03	0,01	-0,04	-0,03	-0,07	-0,04	0,00	-0,05	-0,06	-0,07	-0,12
Média		0,02			-0,05*			-0,03			-0,08	

\*: Significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Quanto a avaliação das propriedades físicas do solo dentro das famílias (Tabela 4), não foram observadas diferenças significativas na área cultivada com as *Poaceae*. Provavelmente, em função de maior homogeneidade da distribuição do sistema radicular dessas plantas. Nas *Fabaceae* a maior microporosidade foi na área onde havia o cultivo de ervilha forrageira ( $-0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

O aumento da microporosidade quando associada à redução da macroporosidade, pode ser um indicativo de compactação do solo (FONSECA et al., 2007); ou seja, da desfragmentação dos agregados do solo (BONETTI et al., 2015). Todavia, nesse estudo o aumento da microporosidade não foi acompanhado de redução da macroporosidade.

Ao avaliar as propriedades físicas do solo nas diferentes profundidades, foram observadas diferenças significativas para a macroporosidade, porosidade total e densidade do solo (Tabela 5). Observou-se maior volume de macroporos ( $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), porosidade total ( $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e conseqüentemente menor densidade do solo ( $-0,12 \text{ Mg m}^{-3}$ ) na profundidade de 0 - 0,05 m e, a menor macroporosidade e maior densidade na profundidade de 0,10 - 0,15 m (Tabela 5).

O maior volume de raízes das plantas ocorre na superfície do solo, sendo também nessa profundidade a maior deposição de material orgânico e maior atividade microbiana, proporcionando maior agregação e estruturação do solo (MEDEIROS et al., 2015). Os valores de microporos, foram semelhantes em todas as profundidades avaliadas (Tabela 5). Geralmente os microporos são mais resistentes a deformação e pouco alterados pelo manejo (VIANA et al., 2011), principalmente em Latossolos (NETO et al., 2008).

A densidade do solo acima dos valores de  $1,25 - 1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  são considerados críticos para a maioria das culturas em solos com mais de 55 % de argila (REICHERT et al., 2003). Por outro lado, Reinert et al. (2001) consideram como densidade crítica ao crescimento de raízes valores acima de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ . Para Argenton et al. (2005), quando a densidade do solo for superior a  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , devem-se realizar práticas de cultivo que favoreçam o crescimento do sistema radicular e aumente a agregação, o que resultará em redução no valor da densidade do solo.

Tabela 5 - Valores dos contrastes das propriedades físicas do solo nas diferentes profundidades de avaliação em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

Contraste	Macroporos			Microporos			Porosidade total			Densidade		
	<i>Poaceae</i>	<i>Fabaceae</i>	Média	<i>Poaceae</i>	<i>Fabaceae</i>	Média	<i>Poaceae</i>	<i>Fabaceae</i>	Média	<i>Poaceae</i>	<i>Fabaceae</i>	Média
	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						$\text{Mg m}^{-3}$					
C <sub>4</sub>	0,08*	0,03	0,05*	-0,03	0,00	-0,01	0,05	0,03	0,04*	-0,15*	-0,09*	-0,12*
C <sub>5</sub>	0,04	0,02	0,03*	-0,02	-0,02	-0,02	0,04	0,00	0,02	-0,08	-0,15*	-0,13*

\*: Significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Ao avaliar as propriedades físicas do solo nas diferentes profundidades nas famílias, constatou-se diferenças significativas (Tabela 5). Para a família *Poaceae*, maior macroporosidade ( $0,08 \text{ m m}^{-3}$ ) e menor densidade do solo ( $-0,15 \text{ Mg m}^{-3}$ ) foram encontrados na profundidade de 0 - 0,05 m. Na família *Fabaceae*, houve diferenças significativas apenas na densidade do solo. Essa variação foi inversamente proporcional a profundidade.

Esses resultados é justificado pela maior concentração do volume de raízes na superfície, cerca de 66 % (SILVEIRA et al., 2015), as quais são responsáveis pela aproximação das partículas do solo. Durante seu crescimento as raízes exercem pressão sobre as partículas do solo (GUEDES FILHO et al., 2013); e também pela constante absorção de água do perfil do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997), além de promoverem a liberação de exsudados orgânicos que atuam como agentes cimentantes (CALONEGO; ROSOLEM, 2008) que contribuem na formação e estabilização dos agregados melhorando as propriedades físicas do solo.

Ao a avaliar as propriedades físicas do solo nas diferentes profundidades dentro das famílias, verificou-se que as *Poaceae* apresentaram maior macroporosidade e menor densidade do solo na profundidade de 0 - 0,05 m. Nesta mesma profundidade as *Fabaceae* apresentaram a menor densidade do solo (Tabela 5).

A resistência do solo à penetração após o cultivo de diferentes famílias de plantas de cobertura é apresentada na Figura 1. Observou-se que na área onde se cultivou as *Poaceae* apresentou menor resistência a penetração em relação as *Fabaceae*, até a profundidade de 0,20 m. Sistemas radiculares distintos, possuem diferentes capacidades/formas de penetração no solo.

As *Poaceae* pela intensa proliferação de raízes fasciculada na camada arável do solo (KONDO et al., 2012), condicionam maior agregação e menor resistência à penetração. Por outro lado nas *Fabaceae*, cerca de 80 % do sistema radicular pivotante, são capazes de atingirem até 0,80 m de profundidade (SILVA et al., 2002), o que contribui para a redução da resistência à penetração abaixo de 0,20 m.

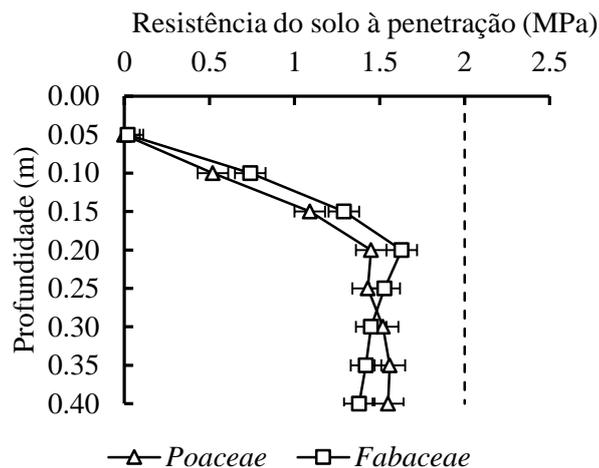


Figura 1 - Resultados médios para resistência do solo à penetração em diferentes famílias de plantas de cobertura e profundidades de avaliação.

Na figura 2, é apresentada a influência na resistência do solo à penetração após o cultivo das plantas de cobertura dentro de cada uma das famílias avaliadas. Na família *Poaceae*, a aveia preta apresentou menor resistência a penetração, diferindo significativamente da braquiária até a profundidade de 0,15 m, abaixo dessa profundidade não houve diferenças significativas (Figura 2a). Esse resultado indica que o maior incremento de massa seca da aveia preta ( $4.966 \text{ kg ha}^{-1}$ ), associado ao sistema radicular mais agressivo (LOPES et al., 2013), uniforme e abundante em todo o volume de solo (COSTA, 2014), pode ter contribuído para a elevação na estabilidade dos agregados de maior diâmetro melhorando a qualidade estrutural do solo (SANTOS et al., 2012), proporcionando menor resistência do solo à penetração.

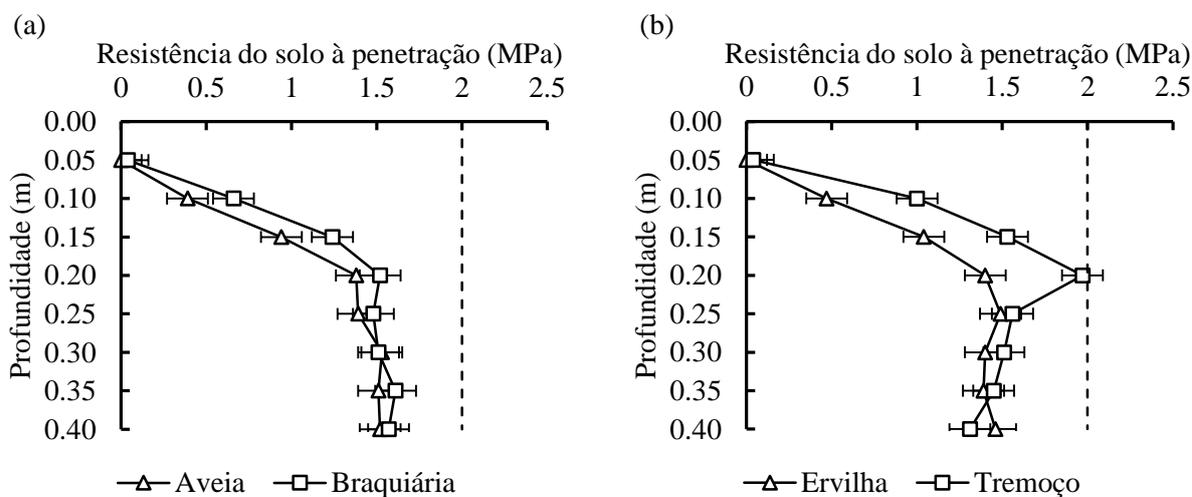


Figura 2 - Resultados médios para resistência do solo à penetração dentro das diferentes famílias de plantas de cobertura e profundidades de avaliação.

Para as *Fabaceae* (Figura 2b), constatou-se que a resistência do solo à penetração foi significativamente diferente entre a ervilha forrageira e o tremoço branco até a profundidade de 0, 20 m, sendo a menor resistência à penetração avaliada na área cultivada com ervilha forrageira. Todavia, no tratamento com tremoço branco a 0,20 m de profundidade foi constatado a maior resistência a penetração (1,93 MPa), ficando muito próximo ao valor considerado crítico para a maioria das culturas, 2,0 MPa (SANTOS et al., 2015), porém esse limite pode variar entre 2 - 3 MPa (IMHOFF et al., 2000) em função da umidade do solo no momento da avaliação.

As propriedades físicas avaliadas nesse experimento devem ser levadas em consideração no momento da escolha das plantas de cobertura, principalmente quando a finalidade é a recuperação e/ou a melhoria das propriedades físicas do solo.

### 3.6 CONCLUSÕES

A família de plantas *Fabaceae* apresentou maior produtividade de massa seca, entretanto, o menor índice de cobertura da superfície do solo.

O maior volume de macroporos, e a menor resistência do solo à penetração foram constatados no solo cultivado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, na profundidade respectiva de 0 - 0,10 m e de 0,05 - 0,20 m.

### 3.7 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade

de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho Distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

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

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, 2002.

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

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**, Santa Maria, p. 32, v. 1, p. 49-54, 2002.

COSTA, P. F. **Manejo das culturas de inverno e sus influência sobre as propriedades físicas do solo, dinâmica de plantas daninhas, teor e acúmulo de nutrientes**. 2014. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2014.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

EDEN, M.; SCHJONNING, P.; MOLDRUP, P.; JONGE, L. W. Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content. **Soil Use and Management**, Harpenden, v. 27, n. 3, p. 340-349, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 1997. 212 p.

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

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 637-645, 2007.

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

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**, Amsterdam, v. 204-205, n. 1, p. 94-101, 2013.

HÅKANSSON, I. Machinery-induced compaction of arable soils: incidence, consequences, counter-measures. **Uppsala: Department of soil sciences uppsala**; 2005, nº 109, 156 p.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 11-12, p. 1647-1653, 1997.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistencia no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G. ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLIEMANN, H. J.; MAGALHÃES, R. T.; OLIVEIRA, I. P.; MORAES, M. F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 49-56, 2003.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 33-40, 2012.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, E. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2012.

LOPES, H. J.; WEBER, F. S.; GUILHERME, V.; SALVADOR, R.; VALICHESKI, R. R.; STÜRMER, S. L. K. Resistência mecânica do solo a penetração e produtividade da

cultura do milho sob distintas plantas de cobertura e doses de nitrogênio. In: VI MOSTRA NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA INTERDISCIPLINAR – MICTI; 30 de Outubro de 2013, Camboriú. **Anais...** Camboriú. Instituto Federal Catarinense, 2013.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MEDEIROS, A. R.; CÂMARA JÚNIOR, C. L.; PEREIRA, J.O.; OLIVEIRA, F.A.; AMARO FILHO, J. Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedometrico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 3, p. 09-22, 2015.

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

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 531-538, 2001.

NEGRINI, A. C. A. **Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes**. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

NETO, E. L. S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 255-260, 2008.

PICKLER, E. P.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; KONOPATZKI, M. R. S.; PACHECO, F. P. Influência da cobertura de inverno nos atributos físicos do solo em culturas de milho e soja sob plantio direto. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 33-45, 2012.

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

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.;

CERETTA, C. A. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2001. V. 1, p. 114-133.

ROSA, H. A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe**. 2013. 28 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

SANTOS, M. H. F.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. A. Estimativa da compactação através da resistência do solo à penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. **Revista Científica eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 27, n. 1, p. 49-62, 2015.

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); 2013. 353 p.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; 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**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

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.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, 2010.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, J. A. M.; GOMES, T. C. A.; SOARES, E. M. B.; SÁ, P. G.; SILVA, M. S. L.; FARIA, C. M. B. Caracterização de sistemas radiculares de leguminosas cultivadas sob irrigação no Vale do São Francisco: 1. Padrão de distribuição. In: 14º REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA; 28 de Agosto de 2002; Cuiabá. **Anais...** Cuiabá. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2002.

SILVA, T. C.; MACEDO, C. H. O.; ARAÚJO, S. S.; PINHO, R. M. A.; PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; GONZAGA NETO, S. Características agronômicas do capim *Brachiaria decumbens* submetido a intensidades e frequências de corte e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 3, p. 583-593, 2011.

SILVEIRA, F. P. M.; SILVA, I. F.; SOUZA, R. F.; SANTIAGO, R. D.; ROCHA, I. T. M. Massa seca do Sistema radicular cespitoso e decumbente de braquiárias em diferentes condições. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO; 02 de Agosto de 2015; Natal. **Anais...** Natal. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2015.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p.104-113, 2007.

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.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society American**, Madison, v. 68, n. 1, p. 1403-1409, 2004.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

## 4 CAPITULO 2: PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA

### 4.1 RESUMO

A utilização de plantas de cobertura do solo possui efeitos variáveis na cultura em sucessão, em função de cada planta de cobertura utilizada. O trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de grãos de milho e soja em sucessão a plantas de cobertura (*Poaceae* e *Fabaceae*) cultivadas no outono-inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com seis repetições. As parcelas foram constituídas pelo cultivo de milho e soja sobre as diferentes biomassas de quatro plantas de cobertura cultivadas no outono-inverno; duas *Poaceae* (aveia preta e braquiária) e duas *Fabaceae* (ervilha forrageira e tremoço branco). Foram avaliados os parâmetros de produção e produtividade das culturas comerciais de verão, milho e soja. O cultivo de plantas de cobertura das famílias *Poaceae* e *Fabaceae* no outono-inverno, não apresentaram diferenças significativas sob a produtividade de grãos de milho e soja cultivados em sucessão.

Palavras-chave: Adubos verdes, *Zea mays*, *Glycine max*.

### 4.2 ABSTRACT

The use of ground cover plants has variables effects on culture in succession, depending on each used cover crops. The study aimed to evaluate the yield of corn and soybean in succession to cover crops (*Poaceae* and *Fabaceae*) grown in autumn-winter. The experimental design was randomized blocks with six replications. The plots were composed by corn and soybeans on different biomasses four cover crops grown in the autumn-winter; two *Poaceae* (black oats and pasture) and two *Fabaceae* (pea forage and white lupine). We evaluated the parameters of production and productivity of commercial summer crops corn and soybean. The families of cover crops cultivation *Poaceae* and *Fabaceae* in the autumn-winter, no significant differences in the productivity of corn and soybean grown in succession.

Keywords: Green manures, *Zea mays*, *Glycine max*.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A evolução no sistema de produção agrícola tornou o Brasil altamente competitivo no mercado internacional de *commodities*, sendo a produção de grãos de milho e soja uma dessas grandes conquistas. As culturas de milho e soja são consideradas as mais importantes do mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor de milho com uma produção superior a 84,7 milhões de toneladas (CONAB, 2015), ficando apenas atrás dos Estados Unidos e China (USDA, 2015); e o segundo maior produtor de soja ficando atrás apenas dos Estados Unidos com mais de 96,2 milhões de toneladas (USDA, 2015).

O aumento na produtividade das culturas está vinculado a adoção de sistemas de produção sustentáveis e conservacionistas, os quais tem contribuído para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo (CARDOSO et al., 2014). Dessa maneira, o sistema de plantio direto (SPD) é considerado um sistema de cultivo que reduz os impactos causados pelos sistemas convencionais (SOUZA et al., 2014), mantendo as condições necessárias para o desenvolvimento e produção das culturas implantadas, além de reduzir as perdas de solo e carbono orgânico.

A eficiência do SPD está em função do manejo adequado do sistema solo com práticas agrícolas conservacionistas: mecânica, edáfica e vegetativa, entre as quais se destaca a utilização de plantas de cobertura do solo (CARVALHO et al., 2015). As plantas de cobertura em um sistema de rotação e/ou sucessão com culturas comerciais é uma estratégia que visa manter e/ou elevar no solo o teor de matéria orgânica (GIONGO et al., 2011; SOUZA et al., 2014) e a quantidade de palhada na superfície (STEINER et al., 2011; WUTKE et al., 2014). No entanto, essa manutenção e/ou elevação em regiões de clima tropical é dificultada pela velocidade que os materiais são decompostos e mineralizados (TORRES et al., 2014).

Inúmeras são as vantagens do uso adequado do sistema de rotação e/ou de sucessão de culturas, entre elas destacam-se a estabilidade da produtividade de grãos das culturas de interesse econômico, quebra do ciclo de pragas de doenças (SILVA et al., 2007), redução da infestação de plantas daninhas (FRANCHINI et al., 2011). Outras vantagens são a ciclagem de nutrientes, com uso diversificado de espécies com diferentes sistemas radiculares, manutenção ou melhoria das propriedades do solo (LOPES, et al., 2007), redução na variação da temperatura do solo (BOER et al., 2008)

e da evapotranspiração (GIONGO et al., 2011) e a maior proteção ao solo contra os processos erosivos (LANZANOVA et al., 2010).

Nesse contexto, diversas plantas de coberturas tem sido utilizadas e pesquisadas visando a cobertura do solo e a sua utilização no sistema de rotação e/ou sucessão (COSTA et al., 2014). As plantas da família *Poaceae* possuem grande potencial de uso na rotação, pois possuem sistema radicular fasciculado mais denso, apresentando maior contato com as partículas do solo (BRANCALIÃO et al., 2015), o que contribui para a agregação do solo. Além disso, apresentam um grande aporte de biomassa na superfície e com persistência na cobertura do solo, devido à alta relação carbono/nitrogênio, reduzindo dessa forma o processo de decomposição (CALVO, FOLONI; BRANCALIÃO, 2010).

As plantas da família *Fabaceae*, por apresentarem uma relação carbono/nitrogênio mais baixa, possuem efeito mais efetivo em um curto espaço de tempo, devido o favorecimento à rápida decomposição (BRANCALIÃO et al., 2015), promovendo um grande volume de biomassa decomposta (PITTELKOW et al., 2012), além disso, apresentam um bom potencial de adição de nitrogênio e sequestro de carbono no solo (SISTI et al., 2004). Contudo, as quantidades de nutrientes liberados pelas *Poaceae* podem ser iguais ou até mesmo superiores aos acrescentados pelas *Fabaceae* (DONEDA et al., 2012).

Vale ressaltar que a utilização de plantas de cobertura do solo proporciona efeitos no comportamento da cultura em sucessão (MATOSO et al., 2015), sendo esses efeitos variáveis em função de cada planta de cobertura utilizada (CARDOSO et al. 2014). Nesse contexto, o trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de grãos de milho e soja em sucessão a plantas de cobertura (*Poaceae* e *Fabaceae*) cultivadas no outono-inverno.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O trabalho foi realizado na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) no município de Entre Rios do Oeste - PR, localizado nas coordenadas geográficas 24°40'32,66'' de latitude sul e 54°16'50,46'' de longitude oeste, a 244 metros de

altitude em relação ao nível do mar. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600 - 1800 milímetros (CAVIGLIONE, 2000). O solo da unidade experimental é classificado segundo Santos et al. (2013) como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado. Anteriormente a implantação do experimento, a área foi cultivada com aveia no período de inverno e milho em sucessão no verão.

Previamente à implantação do experimento, foi realizada coleta de amostras deformadas de solo na profundidade de 0 - 0,20 m para a determinação das características químicas e granulométricas. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia de Raij (2001). Os seguintes resultados apresentados foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 6,05; M.O. = 24,61 g dm<sup>-3</sup>; P = 2,36 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 6,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> = 2,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V (%) = 77,26. Para a determinação granulométrica foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (1997). Os resultados foram: 763 g kg<sup>-1</sup> de argila, 136 g kg<sup>-1</sup> de silte e 101 g kg<sup>-1</sup> de areia.

#### 4.4.2 Delineamento experimental, implantação e coletas de dados

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com seis repetições. As parcelas foram constituídas pelo cultivo de milho e soja sobre as diferentes biomassas de quatro plantas de cobertura cultivadas no outono-inverno; duas *Poaceae* (aveia preta e braquiária) e duas *Fabaceae* (ervilha forrageira e tremoço branco). Cada parcela foi composta por 10,0 m de comprimento e 5,40 m de largura, totalizando 54 m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup>.

A implantação das culturas no outono-inverno foi realizada mecanicamente com uma semeadora de parcela no dia 09/05/2014, utilizando 70 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta (*Avena strigosa* S.) cultivar IAPAR 61 Ibiporã; 8 kg ha<sup>-1</sup> de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) com valor cultural de 73,06; 60 kg ha<sup>-1</sup> de ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) cultivar IAPAR 83 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de tremoço branco (*Lupinus albus* L.). O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,20 m para as *Poaceae* e 0,40 m para as *Fabaceae*. Não foi utilizada nenhuma adubação de base e/ou de cobertura.

Aos 120 dias após a semeadura, efetuou-se o manejo das plantas de cobertura utilizando 3 kg ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido glifosato. A implantação das culturas comerciais de verão foi realizada mecanicamente e a colheita manualmente. A cultura do milho foi semeada após o manejo das plantas de cobertura (25 dias) com a utilização da variedade Capixaba Incaper 203 sob espaçamento entre linhas de 0,70 m com 5,1 sementes/metro linear. Para adubação de base foi utilizado 279 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 e 70 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura quando a cultura apresentava-se no estágio vegetativo V3 (terceira folha desenvolvida).

A semeadura da cultura da soja foi realizada em dezembro, em função da estiagem ocorrida na região. A cultivar semeada foi a Vtop 1059 Syngenta em espaçamento de 0,50 m entre linhas com 17 sementes/metro linear. Para adubação de base utilizou-se 268 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 2-20-18. O controle de plantas daninhas e insetos foi realizado conforme as necessidades das culturas, sendo utilizado como base as recomendações técnicas da Embrapa. Para a cultura da soja foi realizado o controle preventivo das doenças fúngicas.

No momento da colheita da cultura do milho (18 - 25 % de umidade nos grãos) foram coletadas aleatoriamente e separadas 10 espigas na área útil para avaliação do comprimento da espiga (fita métrica), medindo-se da base a ponta da espiga; diâmetro da espiga (paquímetro graduado em centímetros), determinado na parte mediana da espiga; número de fileiras de grãos por espiga (contagem das fileiras de grãos de cada espiga, individualmente); massa de 1.000 grãos (média da massa de 8 subamostras de 100 grãos em balança de precisão, corrigida para 13 % de umidade) estimando-se assim a massa de 1.000 grãos; e a produtividade (massa dos grãos produzidos na parcela corrigida para 13 % de umidade estimando-se a produtividade para kg ha<sup>-1</sup>).

A soja foi colhida com 14 - 16 % de umidade nos grãos. Antes da colheita foram coletadas, aleatoriamente, 20 plantas por parcela e encaminhadas para o laboratório para avaliação. Avaliou-se o número de vagens por planta; número de grãos por vagem; número de vagens com 1, 2, 3 ou 4 grãos e o número de grãos por planta; também foi avaliado a massa de 1.000 grãos (média da massa de 8 subamostras de 100 grãos em balança de precisão, corrigida para 13 % de umidade); e a produtividade (massa dos grãos produzidos na parcela corrigida para 13 % de umidade estimando-se a produtividade para kg ha<sup>-1</sup>).

#### 4.4.3 Análises estatísticas

Os dados obtidos 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 Scheffé a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os contrastes utilizados na comparação das médias dos tratamentos pelas plantas de cobertura do solo cultivadas no outono-inverno pelo teste de Scheffé, foram: C<sub>1</sub>: Comparação entre famílias (+1T<sub>1</sub> +1T<sub>2</sub> -1T<sub>3</sub> -1T<sub>4</sub>); C<sub>2</sub>: Comparação dentro da família *Poaceae* (-1T<sub>1</sub> +1T<sub>2</sub>) e C<sub>3</sub>: Comparação dentro da família *Fabaceae* (-1T<sub>3</sub> +1T<sub>4</sub>).

Na Tabela 1, são apresentados os resultados médios para os componentes de produção e produtividade da cultura do milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura do solo. Com base na Tabela 2, onde estão apresentados os valores dos contrastes, constatou-se que não houve efeito ( $p < 0,05$ ) das plantas de cobertura cultivadas no outono-inverno para o comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos, massa de 1.000 grãos, produtividade, e número de plantas por hectare de milho cultivado em sucessão.

Os componentes de produção da cultura do milho; comprimento de espiga, diâmetro de espiga e número de fileiras de grãos, foram semelhantes ao encontrados por LÁZARO et al. (2013). Vale ressaltar que o comprimento de espiga, diâmetro de espiga e a densidade dos grãos são características que determinam o potencial de produtividade da cultura do milho; sendo o diâmetro relacionado diretamente com o número de fileiras de grãos por espiga (OHLAND et al., 2005). Quanto aos valores da massa de 1.000 grãos obtidos nesse trabalho (356 g), independentemente das culturas antecessoras, foram superiores à média encontrada por Debiasi et al. (2010), que foi de 304 g. Essa característica é influenciada pelo genótipo, disponibilidade de nutrientes e condições climáticas durante os estádios de enchimento dos grãos (OHLAND et al., 2005).

Tabela 1 - Resultados médios para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura do milho em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

Tratamento	Comprimento de espiga	Diâmetro de espiga	Número de fileiras de grãos	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
	cm			g	Mg ha <sup>-1</sup>	
				Família <i>Poaceae</i>		
1 Aveia	17,83	50,33	16	352,17	7,43	73.511
2 Braquiária	17,67	50	16	355,33	7,60	74.404
Média	17,75	50,17	16	353,75	7,51	73.958
				Família <i>Fabaceae</i>		
3 Ervilha	19	50,33	16	354,50	8,08	71.428
4 Tremoço	17,67	49,17	16	364,50	6,95	73.214
Média	18,33	49,75	16	359,50	7,51	72.321
C.V. (%)	5,69	3,55	5,24	2,75	18,15	2,92

Tabela 2 - Valores dos contrastes para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura do milho em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

Contraste	Comprimento de espiga	Diâmetro de espiga	Número de fileiras de grãos	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
	cm			g	Mg ha <sup>-1</sup>	
C <sub>1</sub>	-0,58	0,42	0,00	-5,75	0,00	1.637
C <sub>2</sub>	-0,16	-0,33	0,00	3,16	0,17	893
C <sub>3</sub>	-1,33	-1,16	0,00	10	-1,13	1.786

\*: Significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

A população de plantas  $\text{ha}^{-1}$  na cultura do milho, variou entre 71.000 a 74.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , ficando próximo do valor para a maior receita líquida, 80.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (PRIMAZ et al., 2015), mas vale lembrar que a população ideal depende do cultivar, da fertilidade do solo, da disponibilidade hídrica e da época de semeadura (AMARAL FILHO et al., 2005).

A produtividade do milho (7,51 Mg  $\text{ha}^{-1}$ ), independentemente da família de planta de cobertura do solo utilizadas no outono-inverno, foram superiores à média nacional de 6,56 Mg  $\text{ha}^{-1}$  (CONAB, 2015); em média superou em 14,48 % a produtividade nacional (Tabela 1). Entretanto, esta produtividade ficou abaixo da média do oeste do Paraná (9,4 Mg  $\text{ha}^{-1}$ ).

Provavelmente, isso ocorreu devido essa variedade (Incaper 203) não apresentar alto potencial de produtividade; geralmente a mesma é cultivada em sistemas orgânicos. Esses resultados podem ser corroborados por Martins e Rosa Junior (2005) que avaliou essa cultura em condições semelhantes. Os resultados revelam que nem sempre as plantas da família *Fabaceae* antecedendo à cultura do milho, são capazes de adicionar nitrogênio no sistema, proporcionando maior produtividade de grãos quando comparadas a família *Poaceae*.

No entanto, resultados contrários foram encontrados por Carvalho et al. (2015) ao avaliarem a produtividade em dois anos consecutivos sob o cultivo braquiária, milheto, sorgo, trigo, crotalária, feijão bravo, guandu, mucuna, nabo forrageiro e vegetação espontânea. No primeiro ano, os autores verificaram que as produtividades da cultura do milho foram semelhantes; já no segundo ano os autores encontraram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre algumas plantas de diferentes famílias e também dentro de cada uma das famílias de plantas. Isso está relacionado a decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais de algumas plantas, sendo influenciadas pelas quantidades acumuladas de massa seca, nitrogênio (CARVALHO et al., 2015) e lignina (CARVALHO et al., 2013).

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. Com base na Tabela 4, onde estão apresentados os valores dos contrastes, verificou-se que não houve efeito das diferentes famílias de plantas utilizadas e nem entre as espécies. Os resultados são semelhantes aos encontrados por Carvalho et al. (2004) e Santos et al. (2006), que não verificaram diferenças nos componentes de produção entre diferentes sistemas de rotação/sucessão de culturas durante o período de cinco anos.

Tabela 3 - Resultados médios para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura da soja em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

Plantas de cobertura	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Número de vagens com 1, 2 ou 3 grãos			Número de grãos por planta	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
			—1—	—2—	—3—				
Família <i>Poaceae</i>									
1 Aveia	52	2	21	21	10	104	145	2,45	215.416
2 Braquiária	64	2	23	27	14	128	144,83	2,74	186.250
Média	58	2	22	24	12	116	144,92	2,60	200.833
Família <i>Fabaceae</i>									
3 Ervilha	63	2	24	27	12	126	137,67	2,72	192.916
4 Tremoço	54	2	20	24	10	108	136,33	2,73	210.833
Média	58	2	22	25	11	116	137	2,72	201.875
CV (%)	12,86	3,64	13,60	16,45	18,55	14,45	7,86	23,94	13,18

Tabela 4 - Valores dos contrastes para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura da soja em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

Contraste	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Número de vagens com 1, 2 ou 3 grãos			Número de grãos por planta	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
			—1—	—2—	—3—				
C <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,00	-1	1	0,00	7,92	-0,12	-1.042
C <sub>2</sub>	12	0,00	2	6	4	24	-0,17	0,29	-29.166
C <sub>3</sub>	-9	0,00	-4	-3	-2	-18	-1,34	0,01	17.917

\*: Significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

A produtividade média de 2,66 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3), ficou abaixo da média nacional que foi de aproximadamente 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>; ou seja, uma diferença de aproximadamente 13 % na produtividade. Isso ocorreu em função da época de semeadura da cultura da soja, que afetou o desempenho vegetativo e produtivo da cultura (CRUZ et al., 2010)

A época de semeadura é considerada um fator que influencia no rendimento da cultura da soja (EMBRAPA, 2003). A semeadura tardia aumenta a exposição das plantas ao ataque mais acentuado das pragas (MOTTA et al., 2002), e as variações dos fatores climáticos (GARCIA et al., 2007). Estes resultados são corroborados por Barbosa et al. (2011) e Sanchez et al. (2014), que não encontraram diferenças significativas para o cultivo da soja em sucessão a diferentes plantas de cobertura.

A população final de plantas de soja não sofreram efeitos significativos das famílias e espécies de plantas de cobertura. A sua população ficou na faixa de 192.000 a 215.000 plantas ha<sup>-1</sup>, sendo aceitáveis variações na população de plantas para a cultura da soja de 200.000 a 500.000 ha<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2011).

Populações acima da recomendada aumentam os gastos com sementes, podem provocar acamamento e não proporcionam acréscimos na produtividade; já a população abaixo da recomendada, favorece o desenvolvimento de plantas daninhas e pode resultar em plantas muito ramificadas e de altura reduzida, o que eleva as perdas no momento da colheita (VAZQUEZ et al., 2008). Vale ressaltar que a baixa população de plantas não interferiu significativamente sobre a produtividade da cultura da soja, pois essa é capaz de suportar grandes reduções de população (VAZQUEZ et al., 2008).

Os resultados de produtividade obtidos, tanto na cultura do milho, quanto da soja; demonstraram que apenas um ciclo de cultivo de plantas de cobertura do solo (aveia, braquiária, ervilha forrageira e tremoço, não influenciaram diretamente no aumento ou redução do potencial produtivo das culturas em sucessão. Demonstrando dessa forma que as plantas de cobertura avaliadas no presente estudo, pode ser incluídas no sistema de rotação e/ou sucessão de culturas sem prejuízos na produtividade, uma vez que o rendimento de grãos não apresentaram diferenças significativas.

#### 4.6 CONCLUSÕES

O cultivo de plantas de cobertura das famílias *Poaceae* e *Fabaceae* no outono-inverno, não apresentaram diferenças significativas sob a produtividade de grãos de milho e soja cultivados em sucessão.

#### 4.7 REFERÊNCIAS

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 467-473, 2005.

BARBOSA, C. E. M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P. R. F.; FERRARI, S. Plantas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1-2, p. 52-64, 2011.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; FILHO, A. C.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

BRANCALIÃO, S. R.; AGUIAR, A. T. E.; BRANCALIÃO, E. M.; LIMONTA, C. R.; ROSSI, C. E.; CRISTOVÃO, N. N. Produtividade e composição dos grãos de soja após o aporte de nitrogênio com o uso de culturas de cobertura em sistema de semeadura direta. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 1, p. 69-76, 2015.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CARDOSO, R. A.; BENTO, A. S.; MORESKI, H. M.; GASPAROTTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2014.

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.

CARVALHO, A. M.; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, Australia, v. 63, n. 1, p. 1075-1081, 2013.

CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; Arf, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1141-1148, 2004.

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

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2014/2015. V.2. n.12. Décimo segundo levantamento/setembro 2015. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2015. p. 1-134.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M.; SANTOS, F. G.; PARIZ, C. M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1223-1233, 2014.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 033-042, 2010.

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

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Tecnologias e produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013**. 1ª ed. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 2011. 261 p.

EMBRAPA. **Tecnologias e produção de soja - Paraná 2004**. 1ª ed. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 2003. 218 p.

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

FIDALSKI J, TORMENA C. A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 637-645, 2007.

FRANCHINI J. C.; COSTA J. M.; DEBIASE H.; TORRES E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. 1ª ed. Documentos 327. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja), 2011. 52 p.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I. O. N.; PORTUGAL, F. A. F. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. 1ª ed. Circular técnica 51. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja), 2007. 12 p.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no

semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611- 618, 2011.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.

LÁZARO R. L.; COSTA A. C. T.; SILVA, K. F.; SARTO, M. V. M., DUARTE JÚNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

LOPES, R. A. P.; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; PRIOR, M.; PEREIRA, J. O. Propriedades físicas de Latossolo Vermelho Distroférrico típico sob sistemas de manejo na sucessão soja-milho no período de três anos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, suplemento especial, p. 721-727, 2007.

MATOSO, A. O.; SOUZA, L. C. F.; ANDRADE, L. H. L.; PEDROSO, F. F.; COSTA, N. R. Desempenho agrônomo da cultura do milho sob diferentes plantas de cobertura no cerrado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 3, p. 29-34, 2015.

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**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1281-1286, 2002.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação no milho em plantio direto. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

PITTELKOW, F. K.; SCARAMUZZA, J. F.; WEBER, O. L. S.; MARASCHIN, L.; VALADÃO, F. C. A.; OLIVEIRA, E. S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 17, p. 212-222, 2012.

PRIMAZ, E.; BALESTRIN, A. L.; CONTE, C. S.; JUNGES, R. C.; CAMILO, M.; TREVIZAN, K. Dozes de nitrogênio e população de plantas na cultivar de milho DKB 240 PRO. **Revista de Agronomia e Medicina Veterinária IDEAU**, Getúlio Vargas, v. 2, n. 3, p. 001-012, 2015.

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

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**, Cruz das Almas, v. 26, n. 3, p. 266-275, 2014.

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); 2013. 353 p.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 21-29, 2006.

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**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUZA, M. F. P.; DAL BEM, E. A.; FRANCO, A. A.; MACEDO, H. R.; NAKAO, A. H.; VIOTTO, G. F. V. Atributos químicos do solo e fosfatase ácida do feijoeiro em decorrência do uso de fertilizantes fosfatado e plantas de cobertura. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 3, p. 76-86, 2014.

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

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

USDA. **World agricultural supply and demand estimates**. Washington: United States Department of Agriculture, 2015. p. 1-40.

VAZQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 01-011, 2008.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: EMBRAPA, 2014. v. 1, cap. 3, p.59-168.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O cultivo de plantas da família *Poaceae* apresentou menor produtividade de massa seca quando comparada a família *Fabaceae*, no entanto, obteve o maior índice de cobertura da superfície do solo.

No cultivo das plantas da família *Poaceae*, a aveia preta apresentou maior produtividade de massa seca em relação a braquiária. E no cultivo de plantas da família *Fabaceae*, a ervilha forrageira apresentou o maior índice de cobertura da superfície do solo quando comparada ao tremoço branco.

O solo cultivado com plantas de cobertura da família *Poaceae* no outono-inverno, apresentou maior volume de macroporos, quando comparada a família *Fabaceae*.

O cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno, promoveu ao solo na profundidade de 0 - 0,05 m, maior volume de macroporos e porosidade total, e a menor densidade, em relação as profundidade de 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m.

A resistência do solo à penetração na profundidade de 0,05 - 0,20 m foi menor na área cultivada com plantas da família *Poaceae* em relação as plantas da família *Fabaceae*.

Dentro da família *Poaceae*, a aveia preta quando comparada a braquiária, promoveu ao solo menor resistência à penetração na profundidade de 0,05 - 0,15 m. Dentro da família *Fabaceae*, o solo cultivado com tremoço branco quando comparado a ervilha forrageira, apresentou a maior resistência à penetração na profundidade de 0,05 - 0,20 m.

O cultivo de plantas de cobertura da família *Poaceae* (Aveia preta e braquiária) e *Fabaceae* (Ervilha forrageira e Tremoço branco) no outono-inverno, não influenciaram na produtividade de grãos de milho e soja cultivados em sucessão.

## **6 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Para melhores resultados sobre os benefícios da sucessão de culturas com plantas de cobertura do solo, torna-se muito importante um maior período de tempo de avaliação dos efeitos das plantas de cobertura nos atributos físicos do solo, e de sua influência na produtividade de grãos de milho e soja cultivados em sucessão. Com isso, é possível selecionar a melhor sucessão de culturas, com a melhor família de plantas de cobertura do solo, a fim de obter os melhores resultados.

## APÊNDICE

APÊNDICE A - Tabelas de resultados das análises de variância do presente trabalho.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para massa seca e índice de cobertura da superfície do solo em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

F.V	G.L	Q.M	
		Massa seca	Índice de cobertura
Bloco	5	840.576,67	266,22*
Plantas de cobertura	3	18.983.261,11*	698,24*
Erro	15	663.287,78	43,15
C.V (%)		21,90	27,51
Média geral		3.719,17	23,87

F.V: Fontes de variação; G.L: Graus de liberdade; Q.M: Quadrado médio; C.V: Coeficiente de variação.

\*: Significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as propriedades físicas do solo em diferentes profundidades de avaliação em função do cultivo de plantas de cobertura no outono-inverno

F.V	G.L	Q.M				
		Macroporos	Microporos	Porosidade total	Densidade	R.P
Bloco	5	7,10	22,81	10,93	0,02	558.645,69
Plantas de cobertura (P.C)	3	160,08*	323,37*	38,87	0,04*	461.552,73*
Erro 1	15	16,74	17,78	23,01	0,01	78.989,05
Profundidade (P)	2 (7)**	332,47*	44,05	149,61*	0,24*	7.382.631,70*
P.C X P	6 (21)**	21,40*	16,63	17,07	0,01	126.212,06*
Erro 2	40 (140)**	5,64	15,02	15,70	0,01	31.301,89
C.V 1 (%)		38,85	9,64	8,81	7,97	24,17
C.V 2 (%)		22,54	8,86	7,28	7,24	15,22
Média geral		10,53	43,74	54,43	1,27	1.162,74

F.V: Fontes de variação; G.L: Graus de liberdade; Q.M: Quadrado médio; C.V: Coeficiente de variação; R.P: Resistência do solo à penetração; \*\*: Dados respectivos a R.P.  
\*: Significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura do milho em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

F.V	G.L	Q.M					
		Comprimento de espiga	Diâmetro de espiga	Número de fileiras de grãos	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
Bloco	5	1,14	3,64	0,27	130,07	4.570.081,24	451.649,70
Plantas de cobertura	3	2,49	1,82	0,55	176,15	1.303.422,71	9.344.699,61
Erro	15	1,05	3,16	0,69	96,05	1.861.083,64	4.562.029,54
C.V (%)		5,69	3,55	5,24	2,75	18,15	2,92
Média geral		18,04	49,96	15,83	356,62	7.514,96	73.139,75

F.V: Fontes de variação; G.L: Graus de liberdade; Q.M: Quadrado médio; C.V: Coeficiente de variação.  
\*: Significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de produção e produtividade de grãos da cultura da soja em função do cultivo em sucessão a plantas de cobertura

F.V	G.L	Q.M								
		Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Número de vagens com 1, 2 ou 3 grãos			Número de grãos por planta	Massa de 1.000 grãos	Produtividade	Número de plantas por hectare
				—1—	—2—	—3—				
Bloco	5	355,34	2,75	18,97	57,34	41,67	1.511,74	53,14	837.345,47	753.385.416,66
Plantas de cobertura	3	222,37	2,08	14,78	47,26	15,48	768,15	127,15	115.720,17	117.387.153,09
Erro	15	55,54	1,35	8,81	16,63	4,45	235,39	122,65	406.098,40	704.079.861,11
C.V (%)		12,86	1,00	13,60	16,45	18,55	14,45	7,86	23,94	13,18
Média geral		57,96	1,00	21,83	24,79	11,37	106,21	140,96	2.661,42	201.354,17

F.V: Fontes de variação; G.L: Graus de liberdade; Q.M: Quadrado médio; C.V: Coeficiente de variação.

\*: Significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade dentro de cada parâmetro avaliado.

## APÊNDICE B - Plantas de cobertura do solo utilizadas no presente trabalho.

Aveia preta (*Avena strigosa* S.)Braquiária (*Urochloa ruziziensis*)Ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.)Tremoço branco (*Lupinus albus* L.)