

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE AGRONOMIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO**

**ALJIAN ANTONIO ALBAN**

**INTERVENÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA NO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO  
MILHO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**DOIS VIZINHOS**

**2016**

**ALJIAN ANTONIO ALBAN**

**ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA DO SOLO E A PRODUTIVIDADE  
DO MILHO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Manejo da Fertilidade do Solo, com Ênfase em Agricultura de Precisão Aplicada ao Manejo da Fertilidade do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Cauduro Girardello.

**DOIS VIZINHOS**

**2016**



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Dois Vizinhos  
Coordenação de Agronomia  
Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo**



**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Monografia n° 001**

**Escarificação mecânica e biológica do solo e a produtividade do milho**

por

**Aljian Antônio Alban**

Monografia apresentada às quatorze horas e trinta minutos do dia nove de dezembro de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Manejo da Fertilidade do Solo, com Ênfase em Agricultura de Precisão, Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
**Paulo Fernando Adami**

\_\_\_\_\_  
**André Pelegrini**

\_\_\_\_\_  
**Orientador  
Vitor Cauduro Girardello**

\_\_\_\_\_  
**Carlos Alberto Casali  
Coordenador do Curso**

**\*A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do curso (ou Programa).**

Dedico este trabalho a minha  
esposa, minha irmã, meu pai, mãe  
e as pessoas que sempre  
estiveram comigo nesta longa  
jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelo dom da vida, pela fé e firmeza para vencer todos os obstáculos.

À minha esposa e meus pais, pelo incentivo, força e compreensão.

Aos amigos pela disposição em auxiliar no desenvolvimento do trabalho sempre que precisei.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo, professores da UTFPR, câmpus Dois Vizinhos.

Agradeço ao Vitor Cauduro Girardello pela sua orientação em meu trabalho.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que se envolveram de forma direta ou indireta no desenvolvimento no trabalho.

## RESUMO

ALBAN, Aljian Antônio. **Escarificação mecânica e biológica do solo e a produtividade do milho**. 2016. 47f. Monografia (Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Os elevados teores de argila dos solos do Sudoeste de Paraná aliados a práticas mecânicas realizadas fora do intervalo de umidade ótima, tem desencadeado perdas na produtividade das culturas principalmente à restrição no desenvolvimento radicular. Com isso, os produtores rurais têm optado pelo investimento em escarificadores mas nem sempre surte efeito esperado. Dessa forma, o presente estudo, teve por objetivo verificar o efeito do preparo mecânico e das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo e na produtividade do milho. Os tratamentos utilizados foram 4 variações de plantas de cobertura, sendo: nabo forrageiro (N), ervilhaca comum (E), aveia (A) e o consórcio (C) entre ambos e três formas de manejo do solo: plantio direto (PD), plantio direto escarificado (PDE) com equipamento modelo Terrus da marca GTS® e plantio direto preparo mínimo (PDPM) com subsolador do modelo Jumbo marca Jam®. As avaliações dos atributos físicos foram realizadas antes do manejo mecânico do solo, após o manejo e após a colheita da cultura de verão. Após o manejo mecânico foi realizada a avaliação da proporção de solo coberto. Foram analisados os atributos físicos do solo, sendo: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração. O plantio direto apresentou maior taxa de cobertura em comparação aos demais tratamentos, já o plantio direto preparo mínimo apresentou a menor cobertura 76% e 37% respectivamente. Após a escarificação mecânica houve redução significativa da densidade do solo e aumento na macroporosidade se comparado ao plantio direto. Após a colheita do milho onde se utilizou nabo e o consórcio houve menor densidade do solo e maior macroporosidade onde se aliou ao manejo mecânico. Quanto a resistência do solo à penetração (RP) inicialmente a camada de 0,07 a 0,22 m apresentava valores acima de 2 MPa. Tanto a escarificação como a subsolagem reduziram a RP nas camadas compactadas. Após a colheita do milho, 9 meses após o manejo do solo o efeito persistia, porém com menor intensidade. Apesar de proporcionar melhorias nas características físicas do solo as operações mecânicas não surtiram efeito sobre a produtividade de grãos do milho em ano de elevada precipitação.

**Palavras-chave:** Escarificação do solo; Plantas de cobertura; Produtividade do Milho.

## ABSTRACT

ALBAN, Aljjan Antônio. **Mechanical and biological soil preparation and corn yield.** 2016. 47f. Monografia (Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

The high clay content of the soils of the Southwest of Paraná allied mechanical practices performed outside the optimum moisture range, has triggered losses in crop productivity mainly to the root development restriction. Thus, farmers have opted for investment in tillers but not always reach out expected effect. Thus, the present study had as objective to verify the effect of the mechanical preparation and the cover plants on the physical attributes of the soil and corn yield. The treatments used were 4 variations of cover plants: forage turnip (N), common vetch (E), oats (A) and the consortium (C) Between two and three forms of soil management: no-tillage (PD), Scarified no-till (PDE) with Terrus model GTS® brand equipment and no-tillage minimum tillage (PDPM) with subsoiler Jumbo brand Jam®. The evaluations were carried out before mechanical soil management, after the management and after the harvest of the summer crop. After the mechanical management, the proportion of covered soil was evaluated. The physical attributes of the soil were analyzed, being: soil density, macroporosity, microporosity, total porosity and resistance to penetration. No-tillage had a higher coverage rate compared to other treatments, while no-tillage had the lowest coverage, 76% and 37%, respectively. After mechanical scarification, there was a significant reduction of soil density and increase in macroporosity when compared to no-tillage. After harvesting the maize with the turnip and the consortium there was lower soil density and higher macroporosity where allied to the mechanical management. As for the resistance of the soil to the penetration (RP) initially the layer of 0.07 to 0.22 m presented values above 2 MPa. Both scarification and subsoiling reduced PR in compacted layers. After harvesting corn, 9 months after soil management, the effect persisted, but with less intensity. Despite improvements in physical soil characteristics, mechanical operations had no effect on maize grain yield in a high precipitation year.

**Palavras-chave:** Soil Preparation; Cover Plants; Corn Yield.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Precipitação pluvial diária e acumulada durante a execução do experimento no ano agrícola 2015/16, na UTFPR, Câmpus de Dois Vizinhos. Fonte: Estação Climatológica UTFPR – DV.....	23
<b>Figura 2</b> - Demonstração da disposição dos tratamentos a campo.....	25
<b>Figura 3</b> - Taxa de cobertura do solo proporcionada pelos diferentes equipamentos.. .....	29
<b>Figura 4</b> - Densidade do solo e macroporosidade para as diferentes espécies de plantas de cobertura após a colheita do milho .....	36
<b>Figura 5</b> - Resistência a penetração (RP) antes da realização do preparo mecânico do solo.....	38
<b>Figura 6</b> - Resistência a penetração (RP) após a realização do preparo mecânico do solo.....	39
<b>Figura 7</b> - Resistência a penetração (RP) após a colheita da cultura do milho .....	41
<b>Figura 8</b> - Produtividade do milho proporcionada pelos diferentes manejos do solo .....	42
<b>Figura 9</b> - Produtividade do milho proporcionada pelas diferentes plantas de cobertura .....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resultado da análise de fertilidade do solo, antes da implantação do experimento.....	24
<b>Tabela 2</b> - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo antes da escarificação mecânica do solo.....	30
<b>Tabela 3</b> - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo após a escarificação e subsolagem do solo. ....	32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1. SISTEMA PLANTIO DIRETO .....	13
2.2. COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	15
2.3. ALTERNATIVAS PARA O MANEJO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	17
2.3.1. Escarificação mecânica .....	18
2.3.2. As plantas de cobertura e a “escarificação biológica” .....	19
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
3.1. OBJETIVO GERAL .....	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>4. HIPÓTESES</b> .....	<b>22</b>
<b>5. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS</b> .....	<b>23</b>
5.1. LOCALIZAÇÃO .....	23
5.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E FORMA DE CONDUÇÃO .....	24
5.3. PARÂMETROS AVALIADOS.....	26
5.3.1. Caracterização física do solo .....	26
5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
6.1. COBERTURA DO SOLO .....	29
6.2. DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO.....	30
6.3. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO .....	37
6.4. PRODUTIVIDADE DO MILHO .....	42
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho tem expressiva importância econômica para o estado do Paraná, segundo os dados da CONAB (2016), a safra do ano agrícola 2015/16 chegou a mais de 16 milhões de toneladas, montante este destinado principalmente a alimentação animal, abastecendo as cadeias de produção de bovinos, aves e suínos.

O milho, assim como qualquer outra cultura, para que haja um bom crescimento e desenvolvimento depende da harmonia de uma série de fatores. Dentre eles a eficiência na absorção de água e elementos inorgânicos é de suma importância para alcançar produções satisfatórias, podendo-se dizer que qualquer impedimento que restrinja o crescimento radicular afeta direta e indiretamente a produção.

Principalmente em plantio direto, onde não ocorre o revolvimento do solo a tendência ao longo dos anos é de se estabelecer um acréscimo na densidade do solo nas camadas superficiais. Entretanto, a negligência das operações mecânicas sob solo em condições inadequadas de umidade e a utilização de máquinas cada vez maiores tem agravado a condição física do solo, passando a impedir o desenvolvimento normal do sistema radicular das plantas.

Como ação corretiva à compactação do solo, a escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar os efeitos, pois tem proporcionado melhoria imediata nos atributos físicos do solo, tornando-o mais favorável ao desenvolvimento das plantas. Porém tem se verificado que os benefícios da escarificação não são duradouros, muitas vezes seus efeitos desaparecendo após 6 meses da operação, e em condições extremas se tornar pior do que a condição inicial.

Nesse caso, quando ocorre precipitação intensa aliado com a densidade, umidade, textura do solo e o número de operações agrícolas subsequentes, indicando assim que apenas o manejo físico como forma isolada não é efetivo para situações de elevada compactação do solo.

Outra alternativa que deve ser integrada à redução da densidade do solo e conseqüentemente os efeitos da compactação do solo é a “escarificação biológica” que se baseia na utilização de plantas de cobertura com sistema radicular agressivo e bom fornecimento de biomassa, como é o caso do nabo forrageiro e ervilhaca comum, que tem proporcionado um aumento na macroporosidade do solo, diminuição da resistência à penetração das raízes.

A adoção de práticas para a amenização dos efeitos da compactação do solo muitas vezes está embasada sobre valores descritos na literatura e tido como limitantes, porém em algumas situações esses valores têm sido questionados devido a adversidade dos fatores ambientais.

No geral, solos do Sudoeste de Paraná possuem elevados teores de argila, esse fato aliado a adoção de práticas equivocadas no que se refere ao “manejo” da compactação, assim como práticas mecânicas realizadas fora do intervalo de umidade ótima, tem desencadeado perdas na produtividade das culturas devido principalmente à restrição no desenvolvimento radicular.

Com isso, os produtores rurais têm optado pelo investimento em escarificadores sofisticados e de elevado custo, a fim de sanar os problemas. Porém, o que tem sido visto é que o uso inadequado pelo uso frequente ou por se utilizar como estratégia isolada além de elevar os custos operacionais muitas vezes não surte efeito sobre a produtividade das plantas

Dessa forma, o presente estudo, teve por objetivo verificar o efeito do preparo mecânico e das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo e na produtividade do milho, também como forma de identificar qual o melhor método para a supressão da compactação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SISTEMA PLANTIO DIRETO

O preparo mecânico do solo foi por durante décadas realizado pelos agricultores para deixar o solo “apto” ao recebimento das sementes e livre de espécies de plantas invasoras. Essa forma de cultivo altera as propriedades físicas do solo, uma vez que rompem os agregados na camada preparada, aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na resistência do solo aos processos erosivos (BEUTLER et al., 2001).

Da mesma forma, o preparo convencional do solo aumenta substancialmente o volume de poros dentro da camada preparada, a permeabilidade e o armazenamento do ar (BERTOL et al., 2000) facilitando o crescimento das raízes das plantas nessa camada, porém abaixo da camada preparada o inverso também acontece pois quando esse solo é submetido a chuvas intensas, o impacto das gotas das chuvas promove o selamento superficial reduzindo a permeabilidade do solo e aumentando conseqüentemente o escoamento superficial desencadeando assim o processo erosivo (BERTOL et al., 1997).

Em substituição ao modelo de preparo do solo convencional surgiu no estado do Paraná e do Rio Grande do Sul no ano de 1976 o sistema de plantio direto (SPD), vindo da necessidade do controle da erosão, visto que as perdas de solo eram muito comuns na época. Também o ganho de tempo para a semeadura era outra grande vantagem que permitiu o agricultor adotar o sistema, maior retenção de água no solo, pela melhoria nos atributos físicos, economia na mão de obra e combustível, pela redução das operações mecânicas e melhor estabelecimento da cultura sendo adotada atualmente em todas as regiões do Brasil (CASÃO JUNIOR et al., 2012).

Um dos fundamentos básicos para a adoção do sistema de plantio direto é a permanente cobertura do solo, que preferencialmente esse material deve ser proveniente de culturas comerciais, sendo que estas produzam grande quantidade de matéria seca, possuir elevada taxa de crescimento, ser de fácil manejo, ter a capacidade de reciclar nutrientes e apresentar relação C/N adequada para que a

decomposição dos restos não seja acelerada e favoreça a exposição do solo (EMBRAPA, 2006).

Outro aspecto importante que deve ser considerado para que haja sucesso da implantação do sistema de plantio direto é a rotação de culturas, a qual exige a combinação de diferentes espécies com diferentes exigências nutricionais, e que permite grande produção de fitomassa (CRUZ et al., 2001), preservando ou mesmo aumentando o teor de matéria orgânica no solo.

Apesar do maior teor de material orgânico no solo cultivado sob plantio direto, este naturalmente apresenta maiores valores de densidade do solo e microporosidade e menores volumes de macroporos e porosidade total nas camadas superficiais do perfil (CRUZ et al., 2001). Isso é decorrente principalmente, do não revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas, isso fica mais evidente em solo de textura mais argilosa (CRUZ et al., 2001).

Contudo, com o passar dos anos, sua densidade visa diminuir se bem conduzido, devido principalmente ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo desta forma a melhoria da estrutura do solo (DEBIASI et al., 2013). A matéria orgânica do solo influencia diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como: a capacidade de retenção de água, a capacidade de troca catiônica, diversidade biológica e a estabilidade estrutural, conferindo assim maior capacidade de resistir aos esforços mecânicos atribuídos ao solo (FRANCHINI et al., 2007).

Muitas vezes, mesmo em condições de plantio direto consolidado a estrutura do solo é alterada, visto que algumas operações mecânicas como: colheita, semeadura e tratos fitossanitários sob umidade excessiva, com isso verifica-se aumento da densidade do solo, da microporosidade em detrimento da macroporosidade (FRANCHINI et al., 2007) e em casos extremos, ao passo de impedir o desenvolvimento radicular, desencadeando assim o processo denominado compactação.

## 2.2. COMPACTAÇÃO DO SOLO

Segundo Camargo et al., (1997) o bom crescimento e desenvolvimento das plantas dependem da harmonia de uma série de fatores. A absorção de nutrientes é um desses, importante para que se alcancem produções satisfatórias, podendo-se dizer que qualquer impedimento que restrinja o crescimento radicular afeta direta e indiretamente a produção.

A compactação de um solo agrícola é um conceito complexo e de difícil descrição e mensuração, está intimamente ligado com atributos físicos, químicos e biológicos que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas (CAMARGO et al., 1997). É um processo de modificação da estrutura do solo em reação às forças externas aplicadas, onde os poros sofrem um rearranjo com consequências para o movimento de ar e água no solo (ARAÚJO, 2002).

Porém, de acordo com Sá et al., (2005) a compactação é causada pela ação do homem ao utilizar máquinas e implementos de maneira inadequada em relação ao teor de umidade do solo, sendo que solos secos apresentam menor deformação com o tráfego de máquinas (ARAÚJO, 2002).

Atualmente com o presente modelo de cultivo, a utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações agrícolas, seja ela semeadura, colheita ou tratamentos culturais tem promovido o aumento da densidade do solo, principalmente na zona de exploração do sistema radicular, sendo que a principal razão para esse efeito é a repetitividade das operações realizadas ao longo dos anos de cultivo (Oliveira, 2002).

Outro aspecto envolvido na elevação da densidade dos solos cultivados sob sistema de plantio direto está ligado a forma com que o processo de modernização da agricultura ocorreu. O peso das máquinas e equipamentos e a intensidade do uso dos solos agrícolas tem aumentado, sendo que esse processo não foi acompanhado de perto pelo aumento proporcional do tamanho e da largura dos pneus, resultando em significativas alterações físicas do solo (STRECK et al., 2004).

Da mesma forma, a modelagem dos pneus utilizados nas máquinas agrícolas do Brasil, geralmente são rígidos nas laterais, os chamados diagonais que por sua forma de construção não permitem com que o mesmo se molde de acordo com o solo transferindo maior pressão ao solo do que os radiais (STRECK et al., 2004).

Em consequência da compactação, tem-se um aumento da resistência do solo a penetração das raízes devido a redução dos macroporos e da continuidade dos mesmos, redução da permeabilidade dos solos e da disponibilidade de nutrientes e água às plantas (STRECK et al., 2004). A disponibilidade de água está diretamente relacionada com os processos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes (COSTA, 1998).

Também, segundo Ghohmann et al., (1996) a elevação excessiva da densidade do solo pode limitar a absorção dos nutrientes, a infiltração e redistribuição de água no perfil do solo, as trocas gasosas e conseqüentemente o desenvolvimento radicular e da parte aérea.

Tavares et al. (2001) cita que a compactação do solo reduz a porosidade do solo, a continuidade dos mesmos e a disponibilidade de água e nutrientes. Uma vez que, os crescimentos do sistema radicular de diversas culturas têm sido relatados devido às modificações morfológicas que ocorrem, como: decréscimo na divisão celular do meristema e aumento do diâmetro da raiz resultante do acréscimo na espessura do córtex, reduzindo assim o volume de solo explorado pelas raízes (SILVA et al., 2001).

Outra explicação para a redução do desenvolvimento das plantas é citado por Taylor et al., (1991) que diz que em condições adversas ao crescimento, as raízes enviam um sinal à parte aérea informando que as condições para o desenvolvimento da planta estão se restringindo e que é necessário reduzir a taxa de crescimento resultando em menor produção.

Algumas observações entre os anos de 1987 a 2000 indicaram que as perdas mais intensas, da ordem de 19,1 milhões de toneladas na produção de soja e milho no estado de Rio Grande do Sul, ocorreram por falta de chuva e em período de maior escassez (1992 a 1997) até 93% da produção foi perdida (BERLATO et al., 2001). Dessa forma, se a compactação limita a disponibilidade de água, teoricamente parte dessas perdas foi causada por restrições físicas do solo. Com isso há grandes evidências entre interação entre a disponibilidade de água no solo, a compactação e o desenvolvimento das culturas.

Freitas (1994) considera a compactação do solo como a maior limitação à altas produtividades das culturas em todo mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a capacidade de infiltração de água do solo e reduz a

translocação de nutrientes, resultando assim na redução da camada explorada pelas raízes.

### 2.3. ALTERNATIVAS PARA O MANEJO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

A tomada de decisão para a supressão dos efeitos da compactação do solo deve ser criteriosamente embasada nos atributos físicos do solo, a fim de que haja economia de recursos e também eficiência na operação.

O método mais simples de avaliação a compactação é a abertura de tricheiras e a observação do sistema radicular, principalmente quando se trata de camadas subsuperficiais compactadas ou pé-de-grade. Entretanto esse método não permite a mensuração, ou seja, definir o grau de compactação do solo (SÁ et al., 2005), impossibilitando a decisão sobre qual o melhor método de superação da compactação do solo.

A compactação do solo pode ser avaliada com relação à densidade do solo, a qual pode ser definida como sendo a relação entre a massa de um solo seco a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. A amplitude da densidade dos solos vai de 1,0 g cm<sup>-3</sup> em solos ricos em matéria orgânica e bem manejados até 1,45 g cm<sup>-3</sup> em solos compactados e mal manejados de textura argilosa (TORRES et al., 1999)

Silva et al., (2001) conduziram um experimento com o objetivo de a concentração e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da soja cultivada sobre resíduos de várias espécies vegetais e em pousio, em solo com camada compactada, observou-se decréscimo no acúmulo de Ca, Mg e K quando a densidade aumentou de 1,12 para 1,36 g m<sup>-3</sup> evidenciando a redução da porosidade do solo e consequentemente, menor movimentação dos íons até a superfície radicular.

De acordo com Sá et al., (2005) a compactação do solo também pode ser avaliada com relação à resistência a penetração, utilizando penetrômetros ou penetrógrafos que representam a resistência oferecida pelo solo sobre o crescimento das raízes das culturas.

Silva Júnior (2001) estudando a variabilidade espacial da resistência a penetração em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com milho constatou a

tendência ao decréscimo da produtividade com o aumento da resistência a penetração de 2,5 MPa.

Para Freddi et al. (2007) em ensaio realizado em um Latossolo a resistência à penetração de até 2,36 MPa proporcionou produtividade de 90% se comparada a testemunha que não sofreu compactação, considerando que ocorreu veranico intenso no início do desenvolvimento da cultura.

Em estudo realizado por Freddi et al. (2009), visando avaliar o desenvolvimento da cultura do milho sobre diferentes níveis de compactação do solo, permitiu visualizar que a produtividade decresceu significativamente quando a resistência à penetração alcançou níveis de 2,15 Mpa, em Latossolo vermelho de textura média, isso ocorreu justamente pela modificação na geometria porosa com consequências sobre a limitação no conteúdo de água disponível. Ficou claro para o autor a influência da disponibilidade hídrica sobre o desenvolvimento radicular em condições de elevada resistência à penetração, exigindo assim um levantamento integrado de informações para nortear as ações voltadas ao manejo da compactação do solo.

### 2.3.1. Escarificação mecânica

A escarificação significa, romper o solo da cada de 0 a 0,3 m com a utilização de equipamentos denominados escarificadores (SILVEIRA, 1988). Esses, são implementos de hastes, que diferentemente dos implementos de discos, não invertem as camadas do solo, promovendo menor alteração na estrutura do solo (VIEIRA, 2006).

A escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo sob sistema de plantio direto consolidado (CAMARA et al., 2005), pois proporcionou condições físico-hidráulicas-mecânicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, pela redução na resistência mecânica à penetração das raízes. Entretanto os equipamentos utilizados na escarificação devem suprimir as camadas compactadas do solo sem, no entanto, causar a inversão das camadas do solo.

Porém segundo Camargo et al., (1997) os benefícios da escarificação não são duradouros se houver tráfego intenso posteriormente, variando com a densidade, umidade e textura do solo e com o número de operações agrícolas subsequentes.

Isso também foi verificado por Nicoloso et al., (2008) que avaliaram a eficiência da escarificação mecânica e o uso de plantas de cobertura na melhoria dos atributos físicos de um solo argiloso e a resposta da soja, observou que em época de elevada precipitação, o efeito da escarificação mecânica foi temporária, não constando melhoria nas condições físicas nove meses após a operação. No mesmo experimento, verificaram que a escarificação biológica com nabo forrageiro, proporcionou um aumento na macroporosidade do solo, diminuindo a resistência à penetração e melhorou a infiltração de água do solo inicialmente compactado.

Wohlenberg et al., (2004) cita que o mecanismo que contribui de forma dominante na estabilização dos agregados do solo está intimamente relacionado com o teor de matéria orgânica, que além de minimizar o adensamento provocado por fatores externos, no caso do rodado das máquinas e forças adicionais, aumenta a retenção de água no solo elevando conseqüentemente o fornecimento nutrientes essenciais às plantas.

Araújo, (2008) verificou que em sistemas conservacionistas de manejo, como é o caso do plantio direto, em que se trabalha com adição de biomassa sobre o solo pelas plantas de cobertura ocorre elevação do teor de matéria orgânica do solo e com isso tem sido observado estruturação e elevação da ação biológica nas camadas superficiais, mantendo os agregados mais estáveis minimizando conseqüentemente os efeitos da compactação.

### 2.3.2. As plantas de cobertura e a “escarificação biológica”

No plantio direto a importância da camada de palha sobre a superfície do solo funciona como dissipadora de energia, protege o solo contra o impacto direto das gotas da chuva, funciona também como um obstáculo ao movimento superficial da água que não infiltra, minimizando ou eliminando a erosão (HAKLER et al., 1998). O mesmo autor ainda cita que a incorporação gradativa dos materiais orgânicos no solo promove o aumento do teor de matéria orgânica, induzindo o aumento da

produtividade, devido ao fornecimento de nutrientes, melhorando, contudo, os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Entre as espécies de para cobertura do solo, a aveia preta é a mais cultivada no Sul do Brasil, antecedendo os cultivos de soja e milho no verão (SILVA et al., 2005). Sua intensa utilização se deve ao alto rendimento de matéria seca, a facilidade de aquisição de sementes, rapidez na cobertura do solo e também pela sua elevada relação carbono-nitrogênio (C/N) (AMADO et al., 1999).

A aveia preta por possuir raízes em abundância, possui característica de melhorar a estrutura de agregados do solo, também devido a elevada produção de biomassa, que de acordo com Derpesch et al., (1992) chega até 6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), onde aproximadamente 55% , ou seja, 3,3 Mg ha<sup>-1</sup> do total é composto pelo sistema radicular, o que tende a promover melhorias físicas do solo.

A ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) é recomendada como cultura antecessora do milho devido à grande disponibilização de nitrogênio (N), chega a 46 kg por tonelada de MS produzida sendo que até 60% é liberada a cultura cerca de 30 dias após o manejo (LARA CABEZAS, 1999). Possui sistema radicular profundo e ramificado e boa produção de biomassa, podendo atingir até 3 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca que auxilia na melhoria dos atributos físicos do solo.

O cultivo do nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), é muito recomendado para o cultivo anterior ao milho, pertence à família das brassicas não tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico através da simbiose, no entanto, possui a capacidade de reciclar grande quantidade de N em sua biomassa extraindo de camadas profundas do solo até 220 kg ha<sup>-1</sup> (LARA CABEZAS, 1999). A característica principal do nabo forrageiro como cultivo de cobertura é sua raiz pivotante extremamente agressiva, capaz de romper camadas compactadas do solo e formar bioporos (DERPESCH et al., 1992), além de possui um desenvolvimento inicial muito rápido, proporcionando rápido fechamento do solo, apresenta elevado rendimento de matéria seca com um ciclo relativamente curto (DERPSCH et al., 1991).

O consórcio entre culturas de cobertura tem como principal característica favorecer distintas características do solo, sendo físicas químicas e biológicas, uma vez que as mesmas por apresentarem desde diferentes requerimentos nutricionais, relação C/N que está ligada a taxa de decomposição até distintas formas de exploração do solo devido as diferentes características fisiológicas e agressividade e volume das raízes.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da escarificação mecânica e biológica do solo sobre a qualidade física e estrutural de um Nitossolo Vermelho distrófico e a produtividade do milho.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar a resistência à penetração do solo, após a escarificação mecânica e a utilização de plantas de cobertura de inverno com potencial descompactador ao longo das culturas de sucessão.

Evidenciar as alterações nas propriedades físicas do solo após o uso de diferentes plantas de cobertura no inverno e sob escarificação mecânica.

Avaliar taxa de cobertura após escarificação mecânica.

Avaliar a produtividade do milho após escarificação mecânica e biológica.

#### **4. HIPÓTESES**

Plantas de cobertura com potencial de romper camadas compactadas, são mais eficientes que a escarificação mecânica do solo em aliviar a compactação do solo na camada de 0 a 0,20 m e ainda incrementar a produtividade do milho devido a melhoria nas condições físicas do solo, através da redução da densidade e da porosidade total e aumento da infiltração de água no solo.

## 5. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

### 5.1. LOCALIZAÇÃO

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, situada em latitude de 25° 42' 52" S e longitude de 53° 03' 94" O, a uma altitude média de 520 metros.

Os dados climáticos de precipitação pluvial, referente ao período experimental (Figura 1), foram obtidos da unidade de estação meteorológica INMET, instalada na Estação Experimental da UTFPR Câmpus Dois Vizinhos.

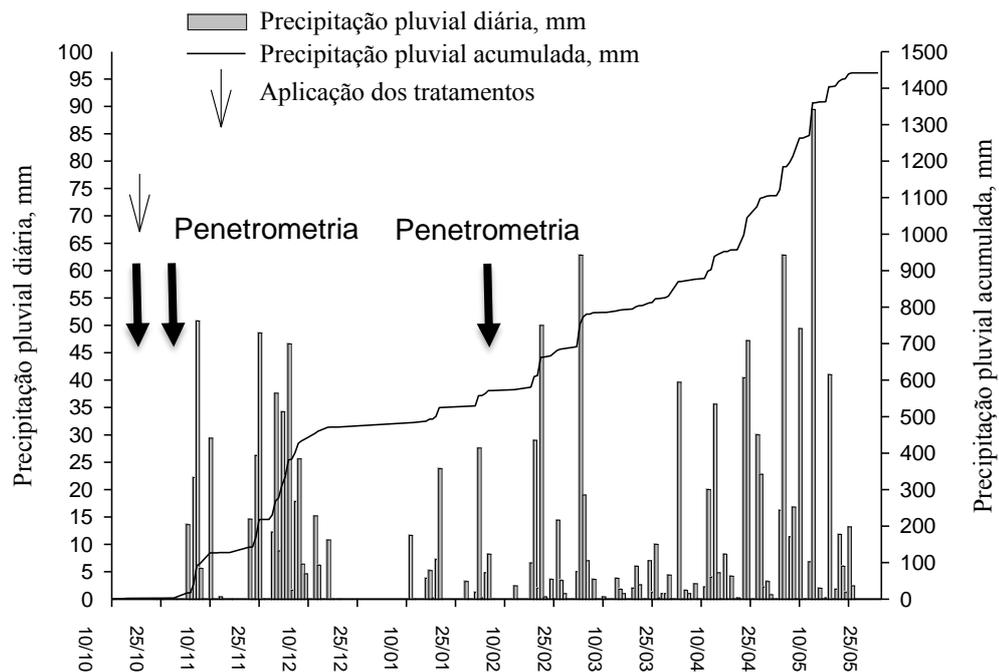


Figura 1 - Precipitação pluvial diária e acumulada durante a execução do experimento no ano agrícola 2015/16, na UTFPR, Câmpus de Dois Vizinhos. Fonte: Estação Climatológica UTFPR – DV.

O solo da área é classificado de acordo com a Embrapa, (2013) como Nitossolo Vermelho. O experimento foi implantado na área em 2015, a qual anteriormente era cultivada com soja, em sistema de plantio direto em diversos anos sucessivos.

Quanto a fertilidade do solo, pode-se observar na tabela 1 o resultado da análise química do solo realizada antes da implantação do ensaio. Verifica-se que os níveis de nutrientes se encontram dentro da faixa de requerimento para a cultura da soja, considerando que o solo contém um teor de argila de 70%.

Tabela 1 - Resultado da análise de fertilidade do solo, antes da implantação do experimento.

pH	M.O <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>	Al <sup>3</sup>	H+Al	CTC <sup>4</sup>	V <sup>5</sup>
CaCl <sub>2</sub>	m/v %	Mg dm <sup>-3</sup>	-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
5,8	4,2	5,99	0,25	5,6	2,4	0,00	3,18	11,43	72,18

<sup>1</sup>Matéria orgânica do solo, <sup>2</sup>Fosforo e Potássio (Mehlich – 1), <sup>3</sup>Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis (KCl 1 M), <sup>4</sup>Capacidade de troca de cátions, <sup>5</sup>Saturação por bases.

## 5.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E FORMA DE CONDUÇÃO

As operações mecânicas do solo foram realizadas no dia 23 de maio de 2015, sendo que a umidade no momento do solo no momento do trabalho era de 0,3 g g<sup>-1</sup>, estando o solo dentro do limite de friabilidade. Tais operações pela escarificação em faixas paralelas de 10 x 32 m (largura x comprimento) com dois equipamentos diferentes e uma faixa paralela onde se manteve a condição de SPD, para que possamos atingir o objetivo de compararmos os modelos de preparo realizando 3 repetições em cada tratamento.

O escarificador novo (Terrus®, modelo TS, GTS do Brasil) foi recentemente lançado no mercado nacional, visando sua utilização em plantio direto. O equipamento utilizado possuía 5 hastes, com espaçamento de 0,6 m entre elas. O escarificador era composto por discos de corte de diâmetro de 152,4 mm posicionados na frente das hastes, visando o corte dos resíduos vegetais existentes na superfície do solo. Na parte posterior do escarificador, havia um rolo destorroador com um diâmetro de 400 mm a fim de eliminar irregularidades do solo na mesma operação, dispensando a gradagem, utilizou-se uma profundidade fixa de trabalho de 0,3 m. O requerimento de potência para tal implemento é de aproximadamente 30 a 40 cv por haste, sendo nessa ocasião utilizado um trator de 160 cavalos de potência (GTS DO BRASIL, 2016).

O outro equipamento utilizado foi o Jumbo® (Jan), tradicionalmente usado no sistema de preparo convencional, neste ensaio sendo nomeado como plantio direto preparo mínimo (PDPM), com hastes escarificadoras tipo parabólica e ponteiros com 0,07 m de largura e 22° de ângulo de ataque, com sete hastes espaçadas 0,40 m. A profundidade de atuação de 0,30 m foi estabelecida por meio do sistema hidráulico e de duas rodas de aço fixadas no chassi. Esse modelo não possui discos frontais e rolos destorroadores na parte traseira do equipamento e requer de 15 a 20 cv de potência para cada haste. Assim nesta ocasião foi utilizado um trator de 110 cavalos para trabalhar.

As operações de preparo do solo foram realizadas antes da semeadura das plantas de cobertura, que ocorreu no mês de maio de 2015, sendo as densidades representadas abaixo

- Aveia Preta - (*Avena strigosa* schreb) 90 kg ha<sup>-1</sup>;
- Ervilhaca comum - (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha<sup>-1</sup>;
- Nabo forrageiro – (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha<sup>-1</sup>;
- Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) 60 + 30 + 10 kg ha<sup>-1</sup>;

As coberturas foram cultivadas durante o inverno nas densidades citadas acima e manejadas 10 dias antes para a semeadura do milho com a utilização de herbicidas sistêmicos de largo espectro, neste caso o Glifosate na dosagem de 4 l ha<sup>-1</sup>.

BLOCO 1				
C	E	A	N	PDE
N	C	E	A	PDPM
E	N	A	C	PD
BLOCO 2				
E	N	C	A	PD
A	E	N	C	PDE
N	A	C	E	PDPM
BLOCO 3				
E	N	C	A	PDE
A	E	N	C	PD
N	A	C	E	PDPM

Figura 2 - Demonstração da disposição dos tratamentos a campo. Onde: C= Consórcio (ervilhaca comum + aveia preta + nabo forrageiro), E= ervilhaca comum, A= Aveia preta, N= nabo forrageiro, PD= plantio direto, PDPM= (plantio direto preparo mínimo), PDE (plantio direto escarificado).

A recomendação ao produtor é que se faça o manejo antecipado das plantas de cobertura, especialmente quando se trata de gramíneas devido à alta relação C/N.

A semeadura do milho foi realizada no dia 10 de setembro com uma semeadora adubadora de precisão de sete linhas da marca Semeato® modelo SHM 1517, para a operação foi utilizado o trator de aproximadamente 110 cv de potência da marca John Deere.

O híbrido de milho utilizado foi o Pioneer 30F53 YH®, com uma densidade calibrada inicialmente para 70000 plantas ha<sup>-1</sup>, sendo 3,2 plantas por metro com espaçamento de 0,45 m.

A adubação de base utilizada foi 200 kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial (08-20-20), totalizando (16 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) respectivamente. Neste ensaio não foi utilizada adubação de cobertura com nitrogênio.

O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando o herbicida Sanson® na dosagem de 1,5 l ha<sup>-1</sup> para controlar especificamente capim papuã *Brachiaria plantaginea* e nabiça *Raphanus raphanistrum*.

Não foram realizadas aplicações de inseticidas durante o desenvolvimento do milho, visto que o mesmo expressava a proteína Bt que controlava insetos da família lepidóptera, sendo a lagarta do cartucho o principal alvo.

### 5.3. PARÂMETROS AVALIADOS

#### 5.3.1. Caracterização física do solo

As análises dos atributos físicos do solo foram realizadas em três épocas, a primeira antes da escarificação, após a escarificação para verificar o efeito mecânico e a última após a colheita da cultura do milho, em fevereiro de 2016. Foram avaliadas as profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

A densidade do solo, macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e umidade foram determinadas por meio de amostras de solo

indeformadas, coletadas com anéis com volume conhecidos (0,03 m de altura e 0,061 m de diâmetro aproximadamente), seguindo metodologia da mesa de tensão, descrita pela Embrapa (1979), de acordo com a fórmula abaixo:

$$Mi = (Ms_{60cm} - M_{ss}) / V * 100$$

onde:

Mi= microporosidade (%);

Ms60 cm= Massa de solos após 48 horas na mesa de tensão a 0,60 m de sucção de coluna de água (gramas);

Mss= Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas);

V = Volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

Para calcular a macroporosidade, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Ma = (M_{ssat} - Ms_{60cm}) / V * 100$$

onde:

Ma = Macroporosidade (%);

Mssat = Massa de solo saturado por 48 horas (gramas);

Ms60 cm = Massa de solos após 48 horas na mesa de tensão a 0.60 m de sucção de coluna de água (gramas);

V = Volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

Para calcular a porosidade total do solo, foi utilizada a fórmula:

$$Pt (\%) = Ma (\%) + Mi (\%)$$

Para calcular a densidade do solo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Ds = M_{ss}/V$$

onde:

Ds = Densidade do solo (mg/m<sup>-3</sup>)

Mss = Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas)

V = volume do cilindro (cm<sup>3</sup>)

Para a realização da determinação de resistência do solo a penetração (RP) foi utilizado um penetrômetro digital com armazenamento de dados, denominado de PenetroLOG da marca Falker®, com ponta cônica de 30° e com área do cone de 129 mm<sup>2</sup> segundo normas ASAE S313.3. As observações foram realizadas a cada 0,01 m

de profundidade até uma profundidade máxima de 0,40 m, sendo amostrado quatro pontos para cada unidade experimental.

A primeira determinação da resistência do solo à penetração foi realizada antes da realização das operações de manejo do solo no dia 10 de maio de 2015, a segunda mensuração ocorreu logo após a escarificação no dia 20 de maio e a última após a colheita da cultura do milho em março de 2016.

A determinação da taxa de cobertura vegetal, foi realizada utilizando o método proposto por Laflen et al. (1981), que consiste na utilização de uma trena com 10 m de comprimento, em intervalo regular de 0,10m, sendo que a cada intervalo, será colocado um pequeno prego, simulando uma gota de chuva. A trena estendida em cada tratamento, em sentido transversal a linha de plantio. Foi realizada a contagem dos pregos que tocarem de forma superficial o solo ou a cobertura vegetal, determinando assim a quantidade de cobertura existente no local em relação a 100 pontos, obtendo assim a porcentagem.

Para a determinação da produtividade do milho foi realizada a colheita de forma manual das plantas dentro da área útil de cada parcela, as amostras foram debulhadas com auxílio de máquinas estacionária com os rendimentos ajustados com o teor de impurezas e umidade de referência de 13%.

#### 5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados serão submetidos à análise Bifatorial, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo software Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. COBERTURA DO SOLO

Os três sistemas de manejo utilizados mantiveram o mínimo de cobertura do solo existindo claras variações entre os manejos adotados (Figura 3).

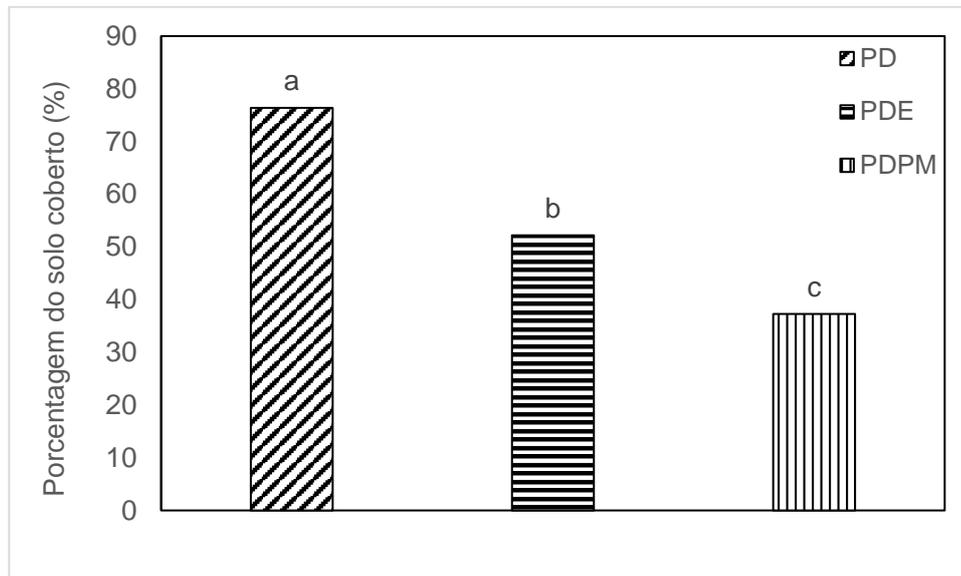


Figura 3 - Taxa de cobertura do solo proporcionada pelos diferentes equipamentos. Onde: PD= plântio direto, PDE= plântio direto escarificado, PDPM= plântio direto preparo mínimo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade de erro.

Como se pode observar, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, sendo que o plântio direto promoveu maior cobertura, cerca de 80%, seguido pelo plântio direto escarificado e pelo plântio direto preparo mínimo com 52% e 38% respectivamente.

A redução na proporção do solo coberto foi de aproximadamente 35% quando se compara o plântio direto ao plântio direto escarificado. Esse efeito corrobora com Camara et al. (2002) que observou uma redução de aproximadamente 30% na cobertura do solo.

No tratamento em que se utilizou o subsolador houve redução de 52% na cobertura do solo se comparado ao plântio direto. Essa maior redução deve-se principalmente pela maior espessura das hastes do equipamento, sendo de 0,03 m promovendo assim o maior revolvimento do solo.

## 6.2. DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO

Pode-se perceber no início do desenvolvimento do trabalho, que o solo estava com densidade elevada, acima do proposto por Torres; Saraiva (1999) que preconizam um valor limitante acima de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  e Silva (2003) de  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  para um solo de textura argilosa, com teor de argila variando de 20 a 55%. Para o teor de argila correspondente com a condição o solo em que o ensaio foi implantado Suzuki, (2005) verificou que a partir de 1,36 a produtividade do milho é afetada.

A camada de 0 a 0,05 m apresentou menor densidade, este fato pode estar ligado a maior deposição de material orgânico na superfície do solo.

Para os valores de porosidade do solo foi verificado que os valores ficaram bastante próximos ao longo do perfil, não apresentando diferença estatística significativa para os parâmetros analisados (Tabela 2) e também acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , valor considerado mínimo restritivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas (VOMOCIL et al., 2008).

Tabela 2 - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo antes da escarificação mecânica do solo.

Profundidade (m)	Ds $\text{Mg m}^{-3}$	Ma ----- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ -----	Mi $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	Pt
0-00-0,05	1,03	0,13	0,40	0,53
0,05-0,10	1,06	0,15	0,39	0,55
0,10-0,20	1,03	0,16	0,41	0,57
0,20-0,30	1,02	0,15	0,39	0,55
F	0,258 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,07	31,59	3,45	9,76

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Onde: (Ds)= Densidade, (Ma)= Macroporosidade, (Mi)= Microporosidade, (Pt)= Porosidade total.

Com a realização das operações de escarificação e subsolagem do solo verificou-se que a densidade do solo foi reduzida drasticamente, quando comparamos com o SPD, tratamento onde não houve mobilização.

A redução da densidade do solo foi mais visível quando se utilizou o subsolador da marca Jan<sup>®</sup> apresentando diferença estatística até 0,20 m se comparado aos demais tratamentos (Tabela 3). Esse efeito ocorreu possivelmente pelo fato de que o equipamento possui hastes de maior espessura e tenha sido mais efetivo na desestruturação dos agregados do solo, aumentando da mesma forma a porosidade total, fato este também verificado por Girardello (2010).

O escarificador também proporcionou a redução da densidade na camada superficial (0 a 0,05 m), não apresentando efeito sobre nas demais camadas, onde o efeito foi igual estatisticamente ao não revolvimento.

Ambos os equipamentos proporcionaram melhorias para macro, micro e porosidade total diferindo-se estatisticamente sobre o tratamento onde conduziu-se sobre plantio direto.

O efeito da escarificação e subsolagem na melhoria dos atributos físicos do solo constatado no presente estudo corroboram com Abreu; Reichert; Reinert (2004) e Silveira Junior (2012) que verificaram melhoria na distribuição de água ao longo do perfil do solo, devido aumento no volume de poros.

Ao observarmos a camada superficial (0,0 a 0,05 m) verificamos uma baixa densidade, isso se deve possivelmente ao efeito do mecanismo sulcador da semeadora, assim como o trabalho realizado pela semeadora de inverno.

Tabela 3 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo após a escarificação e subsolagem do solo.

Tratamento	Ds	Ma	Mi	Pt
	Mg m <sup>-3</sup>	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----		
<b>Profundidade 0,0 – 0,05 m</b>				
Sub	0,90 bB	0,31 a	0,35 a	0,66 a
Esc	0,85 bB	0,30 a	0,34 a	0,64 a
SPD	1,03 aA	0,13 b	0,40 b	0,53 b
F	6,47*	21,18*	5,81*	10,90*
<b>Profundidade 0,05 – 0,10 m</b>				
Sub	0,97 a	0,27 a	0,37 ab	0,64 a
Esc	0,98 a	0,28 a	0,33 b	0,61 ab
SPD	1,06 a	0,15 b	0,39 a	0,55 b
F	1,83 <sup>ns</sup>	12,33*	4,44*	4,90*
<b>Profundidade 0,10 – 0,20 m</b>				
Sub	0,91 b	0,24 a	0,37 a	0,61 a
Esc	1,03 a	0,18 ab	0,39 a	0,57 a
SPD	1,03 a	0,16 b	0,41 a	0,57 a
F	4,27*	3,75*	2,96 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>
<b>Profundidade 0,20 – 0,30 m</b>				
Sub	0,94 a	0,20 a	0,40 a	0,60 a
Esc	1,02 a	0,16 ab	0,42 a	0,58 a
SPD	1,02 a	0,15 b	0,39 a	0,55 a
F	2,03 <sup>ns</sup>	4,72*	1,31 <sup>ns</sup>	2,27*
CV (%)	6,5	18,17	6,6	5,86

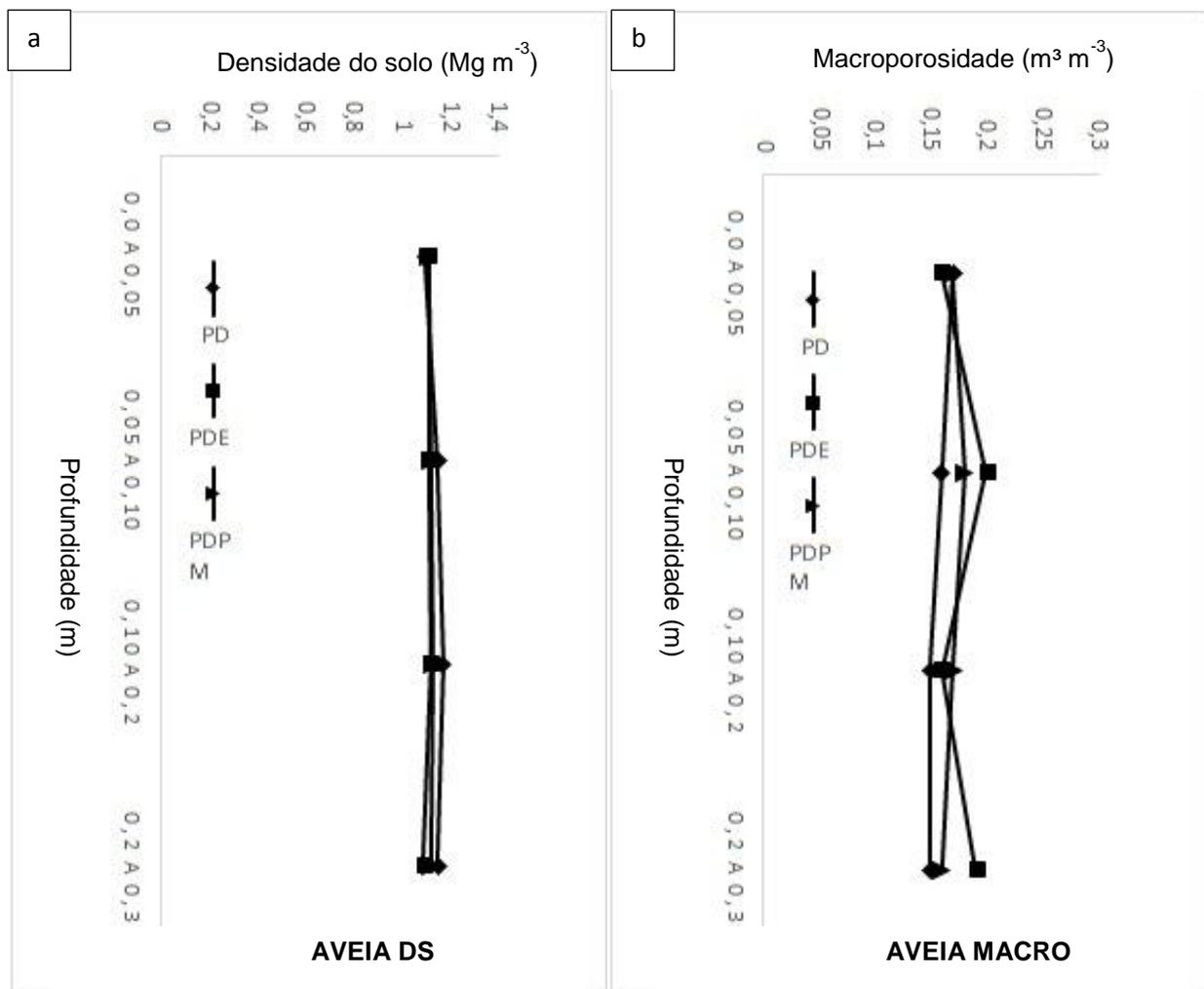
\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Onde: (Ds)= Densidade, (Ma)= Macroporosidade, (Mi)= Microporosidade, (Pt)= Porosidade total.

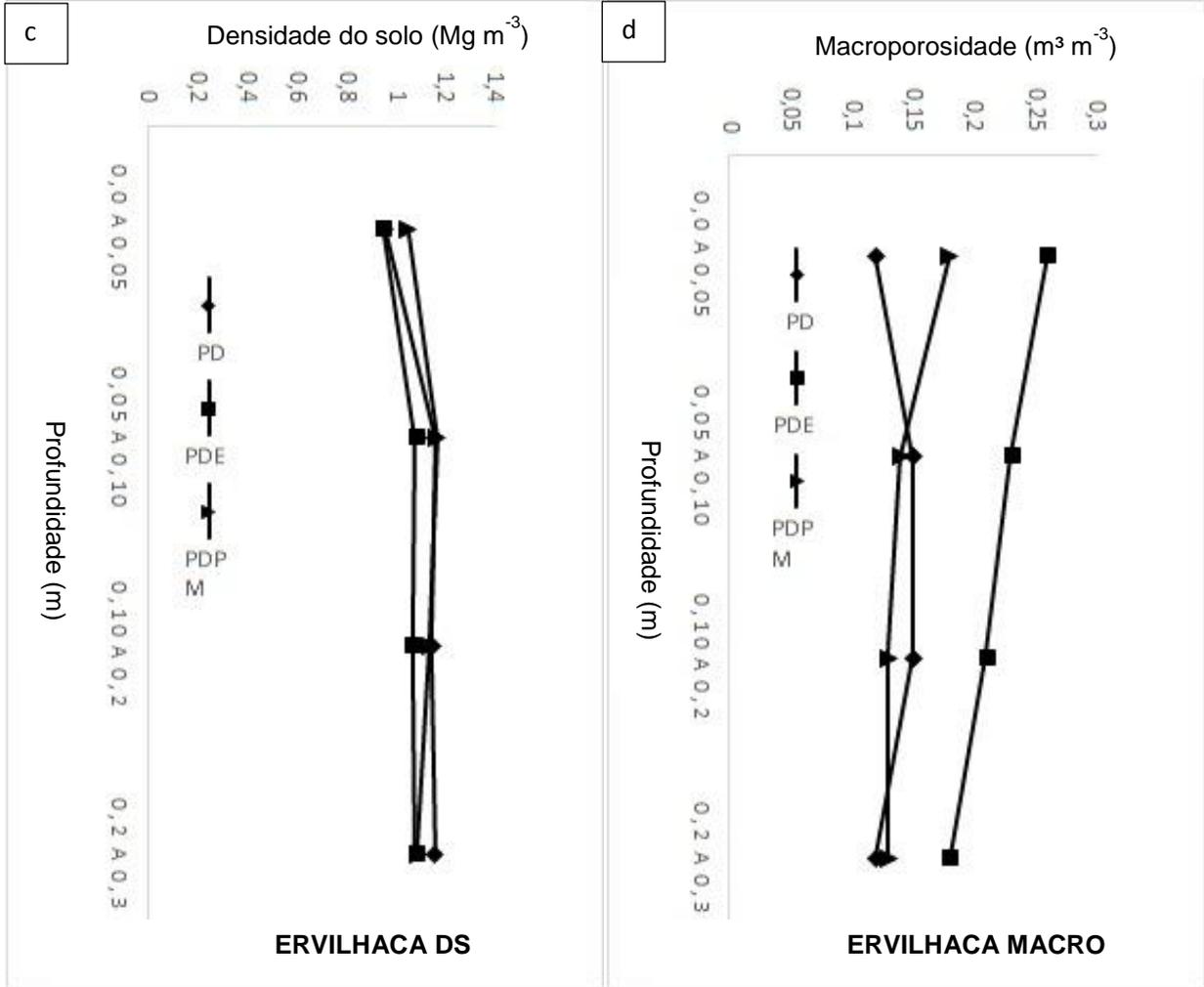
Aproximadamente um ano após a realização das operações mecânicas (escarificação e subsolagem), o efeito sobre a densidade do solo ainda foi visualizado, entretanto em uma escala bastante inferior à visualizada na avaliação logo após às operações. Esse fato se deve basicamente ao efeito de reagrupamento das partículas do solo promovida pelas forças externas aplicadas, dentre elas as operações

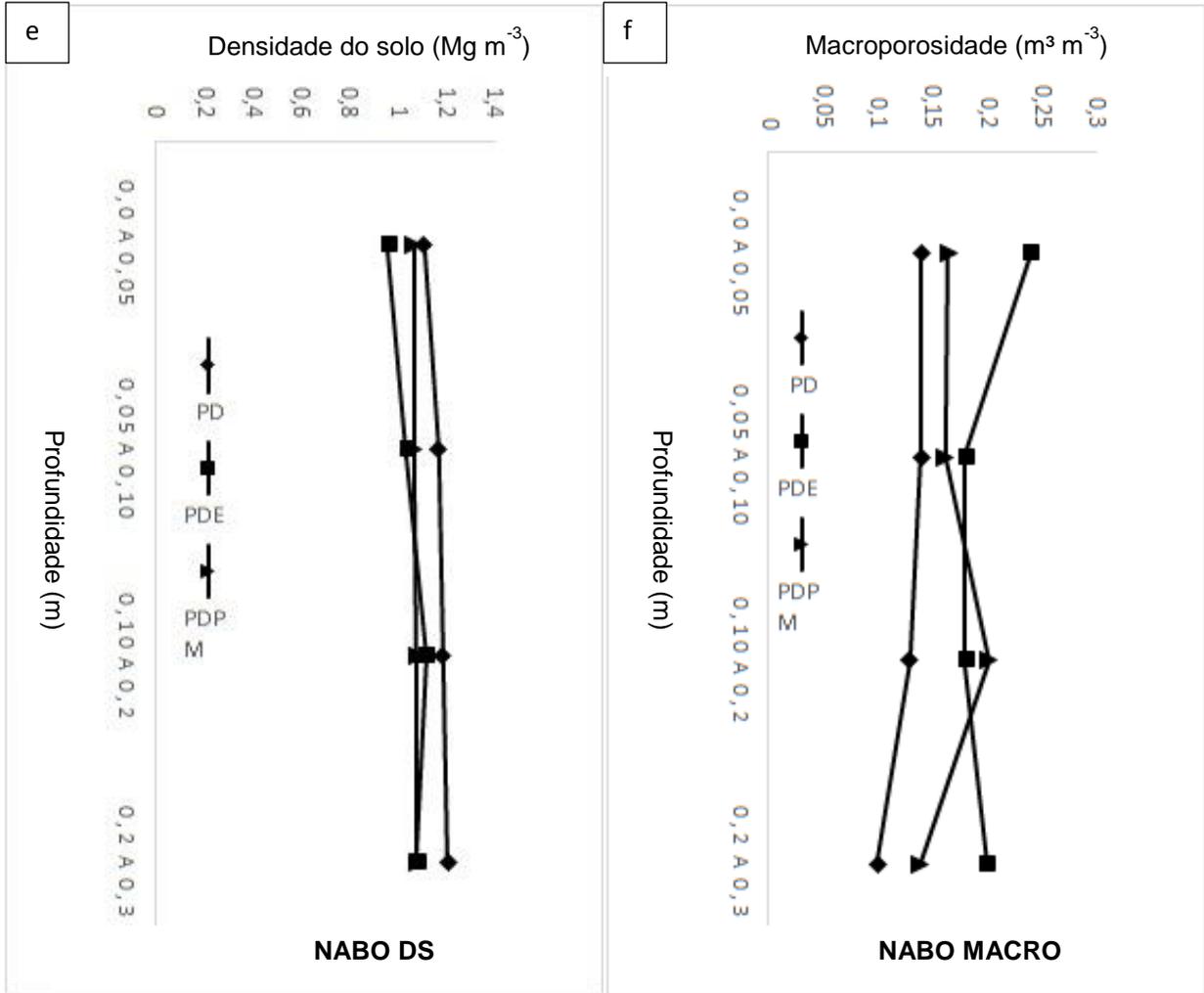
subsequentes, fato esse que também foi visualizado por Girardello (2010) e ainda o efeito da precipitação, que foi bastante intensa no ano em questão.

Secco; Reinert (1997) e Nicoloso et al. (2008) também verificaram que o efeito da escarificação do solo é bastante variável em função do volume e intensidade das chuvas, sendo que em anos com precipitações acima da média faz com que o solo tenha tendência de se reconsolidar.

Quando se considera o efeito das diferentes espécies de plantas de cobertura, pode-se perceber que existe um efeito para das mesmas sobre densidade do solo e macroporosidade diferente entre cada tratamento (Figura 4).







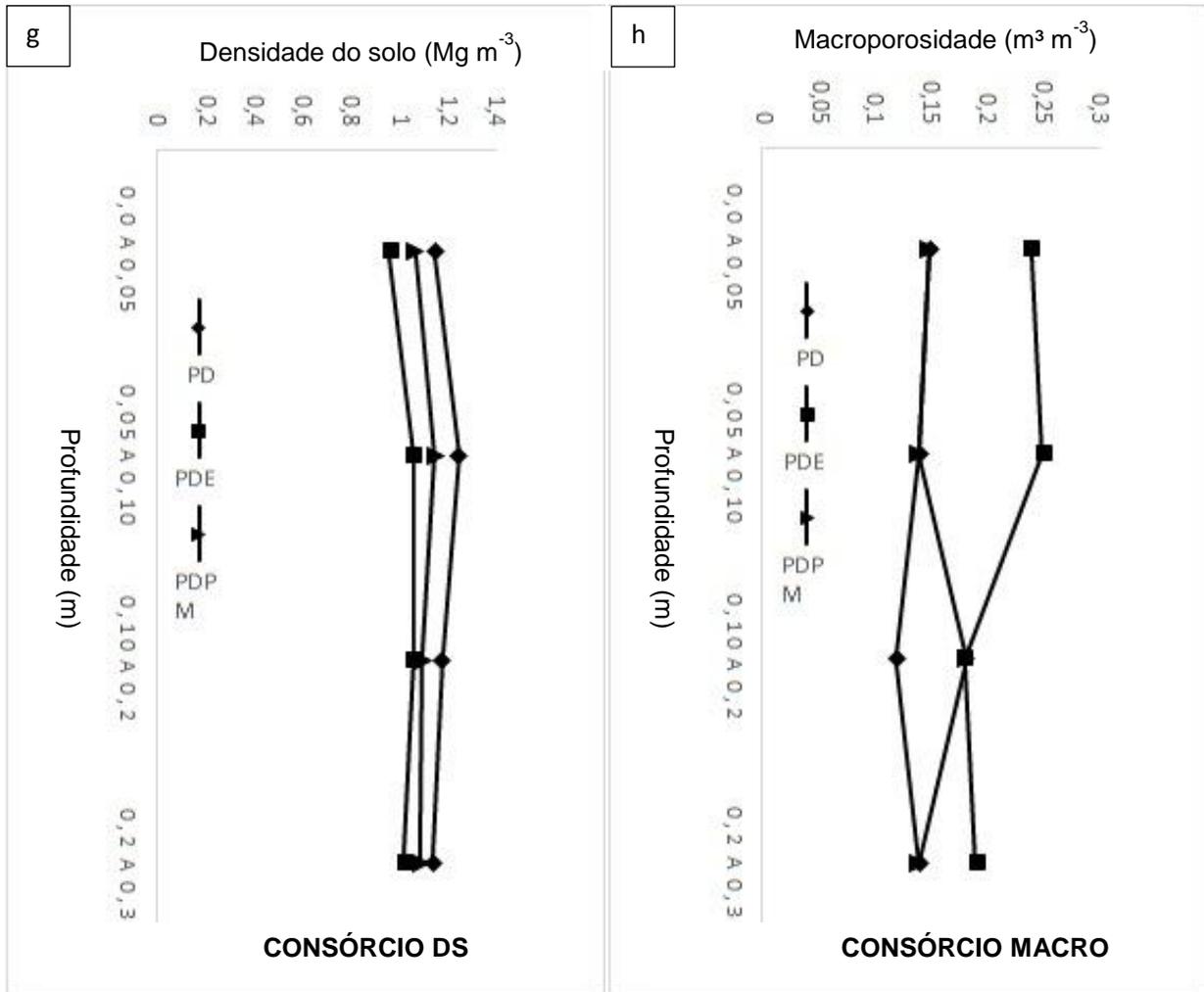


Figura 4 - Densidade do solo e macroporosidade para as diferentes espécies de plantas de cobertura após a colheita do milho. Onde: PD= plantio direto, PDE= plantio direto escarificado, PDP= plantio direto preparo mínimo; a) Densidade do solo sob aveia, b) Macroporosidade do solo sobre aveia, c) Densidade do solo sobre ervilhaca, d) Macroporosidade do solo sobre ervilhaca, e) Densidade do solo sobre nabo, f) Macroporosidade do solo sobre nabo, g) Densidade do solo sobre o consórcio, h) Macroporosidade do solo sobre o consórcio.

Pode-se perceber que a densidade do solo após a colheita da cultura de verão foi menos sensível a variação para os manejos do solo em ambas as profundidades. Porém, para o nabo forrageiro e onde se utilizou o consórcio a densidade do solo foi relativamente menor nos tratamentos onde se utilizou a escarificação e subsolagem, permitindo inferir que esses cultivos são mais eficientes na estabilização dos agregados do solo ao longo do tempo.

Esse fato foi observado por Nicoloso et al., (2008) onde o consórcio entre aveia e nabo foi eficiente em aumentar a macroporosidade do solo e consequentemente a infiltração de água no solo.

Quando se analisa a macroporosidade do solo, também se verifica que a cultura do nabo principalmente, promoveu maior macroporosidade em todas as camadas do solo quando se compara ao plantio direto, evidenciando o aumento na persistência do efeito da escarificação mecânica, o que corrobora com Nicoloso et al., (2008) que cita como mecanismo estabilizador a continuidade dos poros no solo.

### 6.3. RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO

Inicialmente o solo apresentava elevada resistência a penetração das raízes (RP) que ficava compreendida entre 0,07 e 0,22 m chegando a um valor de 4 MPa no momento em que o solo apresentava  $0,33 \text{ g g}^{-1}$  (Figura 5), valor este que pode ser considerado elevado e limitante ao desenvolvimento das raízes das culturas por Freddi et al. (2007) que considera um valor de 2,15 a 2,36 e de 2,5 para Silva Junior (2001). Entretanto, Câmara e Klein (2005) verificaram que mesmo em solo de textura argilosa e de elevada densidade não tem visto acréscimo na produtividade das culturas quando ocorrem anos de precipitação pluvial favorável.

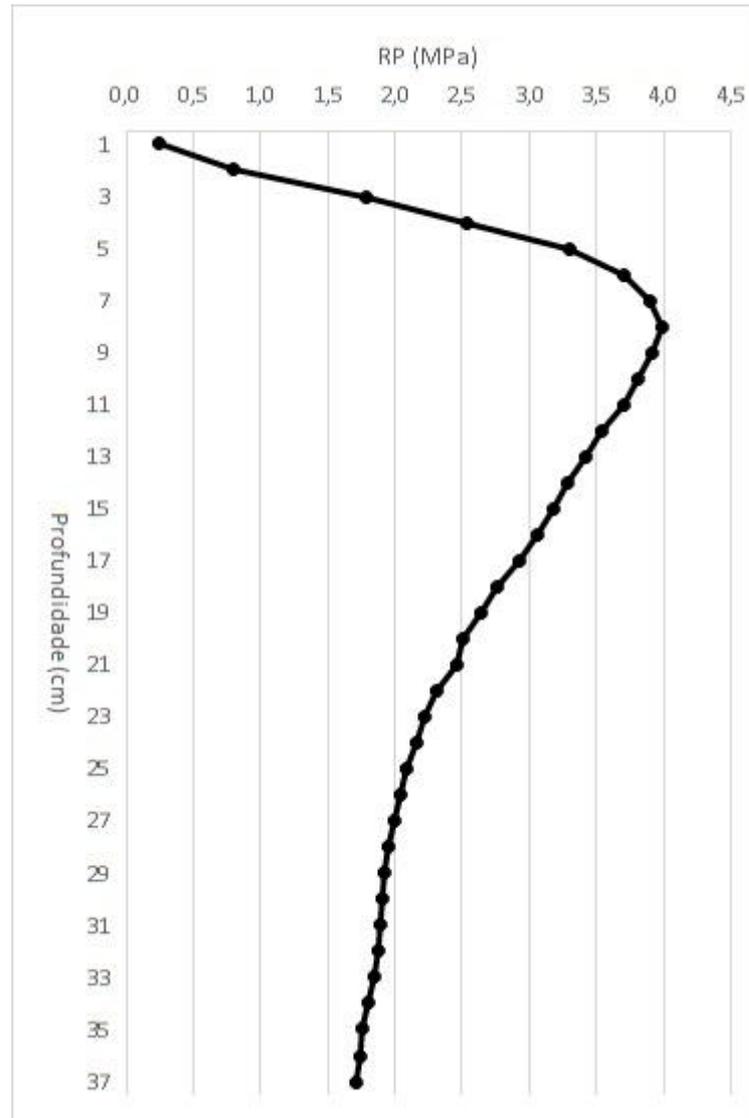


Figura 5 - Resistência a penetração (RP) antes da realização do preparo mecânico do solo.

O efeito observado na resistência a penetração é característica em condições de SPD, onde nas camadas superficiais há uma baixa resistência devido ao alto aporte de matéria orgânica e ação dos mecanismos sulcadores das semeadoras, que se eleva a 0,1 metros e tende a retomar valores baixos após os 0,22 m.

Esse fato foi verificado por Debiasi et al. (2013) que ao monitorar um Latossolo vermelho por um período de 30 anos, verificaram a tendência do aumento da densidade do solo ao longo do tempo, principalmente na camada de 0,05 a 0,185 m, justamente por não ter efeito dos mecanismos de semeadura, assim como por não haver revolvimento do solo.

A avaliação posterior ao manejo do solo permitiu a visualização do efeito sobre a resistência à penetração oferecida pelo solo ao desenvolvimento radicular das

plantas (Figura 6). Pode ser verificado que tanto o escarificador como o subsolador foram eficientes na redução da RP.

O valor máximo de RP representado em MPa para o tratamento onde se utilizou o escarificador foi de 1,62 a uma profundidade de 0,37 m, enquanto que a subsolagem o valor máximo foi encontrado a 0,40 m sendo 1,67. Ambos valores máximos abaixo da zona de atuação das hastes dos equipamentos.

Para SPD o valor máximo foi de 2,95 MPa a 0,13 m, comparado na mesma profundidade aos demais tratamentos, verifica-se que houve uma redução de 2,3 MPa, evidenciando assim o efeito dos equipamentos na redução dos efeitos da compactação do solo. Neste tratamento a partir de 0,09 m a resistência do solo a penetração foi superior a 2,5 MPa, portanto segundo Silva Junior (2001) como restritivo ao desenvolvimento das raízes e teoricamente traria resultados negativos na produtividade.

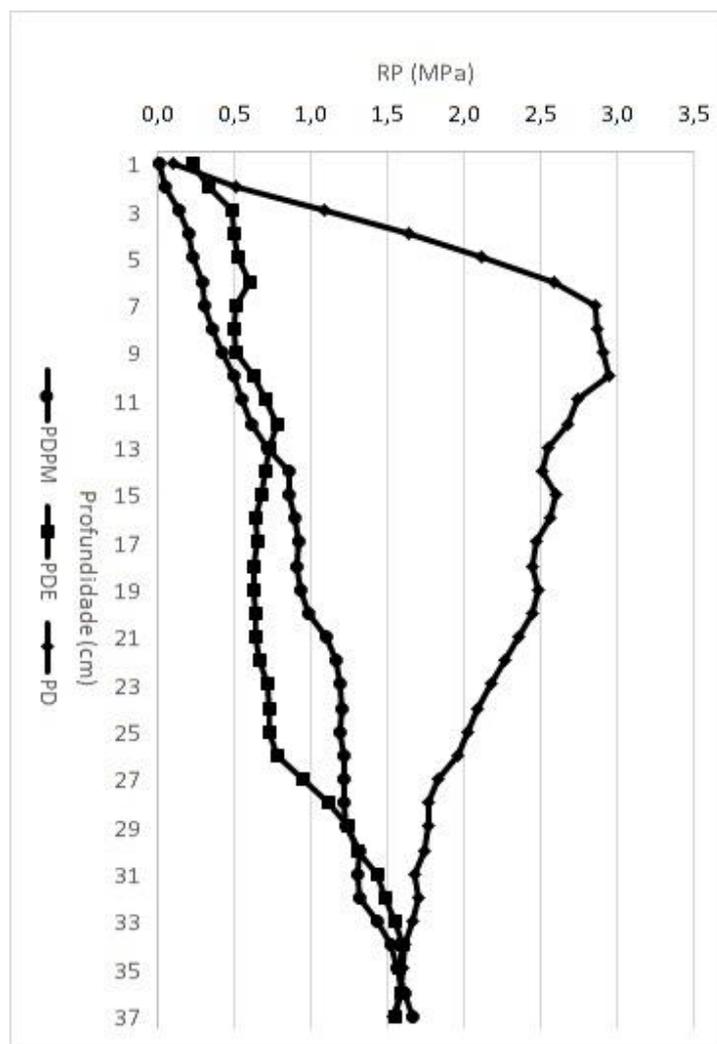


Figura 6 - Resistência a penetração (RP) após a realização do preparo mecânico do solo. Onde: PD= plantio direto, PDE= plantio direto escarificado, PDPM= plantio direto preparo mínimo.

A avaliação da RP avaliada posteriormente à colheita da cultura do milho permitiu a visualização do efeito da escarificação e subsolagem 12 meses após a realização do manejo (Figura 7).

Pode-se perceber que nesta ocasião, os efeitos dos equipamentos ainda eram visíveis sobre a resistência a penetração, pois, quando se utiliza o escarificador, verifica-se que o ponto de maior RP está 0,15 m sendo de 1,77 MPa e para o subsolador de 2,01 MPa a 0,22 m, enquanto que em SPD o solo permanece acima de 2,5 MPa dos 0,09 até os 0,22 m.

Diferentemente do verificado por Nicoloso et al. (2008) e Secco; Reinert (1997) que não obtiveram melhoria nos atributos físicos do solo nove meses e dez meses respectivamente. Após a operação e também em solo de textura argilosa, percebeu-se no presente ensaio que houve efeito mesmo após 12 meses das operações de escarificação e subsolagem.

Entretanto, se pode perceber que houve um acréscimo no valor de RP dos tratamentos onde utilizou a escarificação e subsolagem quando se compara a situação logo após as operações, indicando que o solo está caminhando para o processo de reconsolidação.

A associação da escarificação e subsolagem com as plantas de cobertura possivelmente tenham reduzido a reconsolidação do solo, evitando com que o mesmo tenha voltado a situação original.

Efeito esse percebido por Nicoloso et al. (2008), que quando utilizou o consórcio aveia/nabo associado a escarificação obteve resultado na melhoria dos atributos físicos mesmo nove meses após o preparo, indicando assim que a utilização das práticas mecânicas como forma isolada apresenta eficiência apenas a curto prazo.

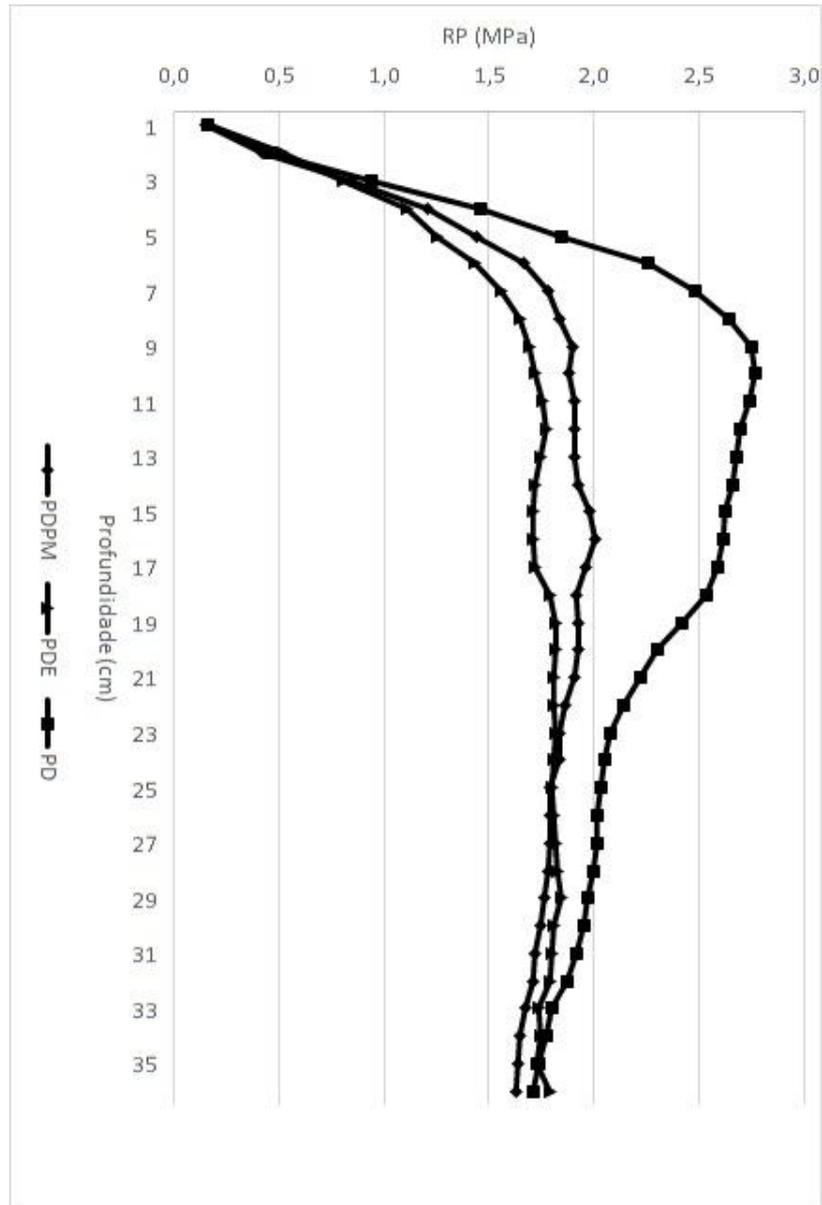


Figura 7 - Resistência a penetração (RP) após a colheita da cultura do milho. Onde: PD= plantio direto, PDE= plantio direto escarificado, PDPM= plantio direto preparo mínimo.

No solo não mobilizado (SPD) a RP da camada mais superficial de 0 a 0,08 m foi de até 1,8 vezes menor que a camada mais compactada de 0,09 a 0,22 m. Embora essa diferença possa ser atribuída a maior umidade na camada superficial, essa camada do solo é mobilizada por equipamentos, organismos vivos, sofrendo também adição de resíduos vegetais e incremento na matéria orgânica (ABREU et al., 2004).

Neste sentido, Genro Júnior (2002) cita que em uma operação de semeadura de culturas de inverno se tem linhas com discos para liberação de sementes e adubos espaçados 0,17 mobilizando 0,05 m do solo, isso promove o revolvimento e exposição

de aproximadamente 30 % do solo, que ao longo dos anos praticamente toda a camada superficial sofre o mesmo efeito.

#### 6.4. PRODUTIVIDADE DO MILHO

Apesar do solo apresentar diferença para as propriedades físicas do solo, não se observou diferença significativa na produtividade do milho (Figura 8).

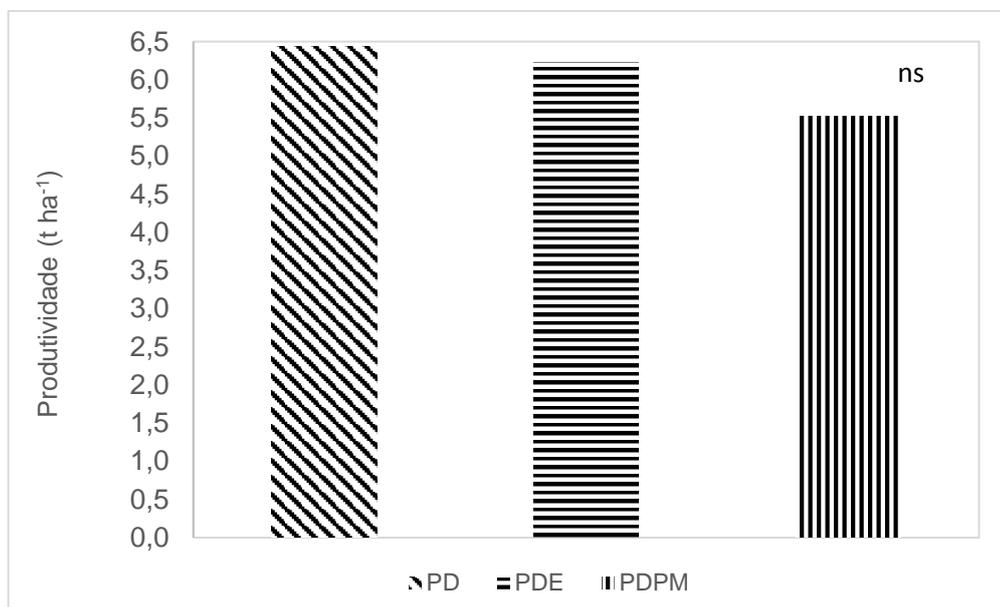


Figura 8 - Produtividade do milho proporcionada pelos diferentes manejos do solo. Onde: PD= plântio direto, PDE= plântio direto escarificado, PDPM= plântio direto preparo mínimo.

A baixa média de produtividade observada nos ensaios se deve basicamente a falta de adubação de cobertura, uma vez que todo o nitrogênio fornecido ao milho foi realizado na ocasião da semeadura e em baixas dosagens.

Provavelmente não houve efeito do manejo mecânico do solo devido a pluviosidade ter sido normalmente durante todo o ciclo de desenvolvimento do milho, com isso não houve restrição a absorção de água e minerais do solo. Esse efeito também foi observado por Camara et al., (2005), quando conduziram um ensaio em ano de precipitação favorável a cultura da soja, apesar da escarificação ter produzido efeitos favoráveis sobre as características físicas do solo. O mesmo autor ainda observou que em condições de restrição física superficial o mecanismo sulcador da semeadora pode superar tal condição.

Nicoloso et al. (2008) verificou que a escarificação de forma isolada não proporcionou incrementos sobre a produtividade da soja, entretanto quando utilizou a escarificação aliada ao consórcio aveia/nabo houve significativo efeito, devido a interação entre a maior cobertura do solo pela elevada produção de fitomassa, melhores condições físicas e melhor infiltração de água no solo.

Quanto às plantas de cobertura, não se verificou efeito significativo entre as diferentes espécies de plantas de cobertura e do consórcio (Figura 9).

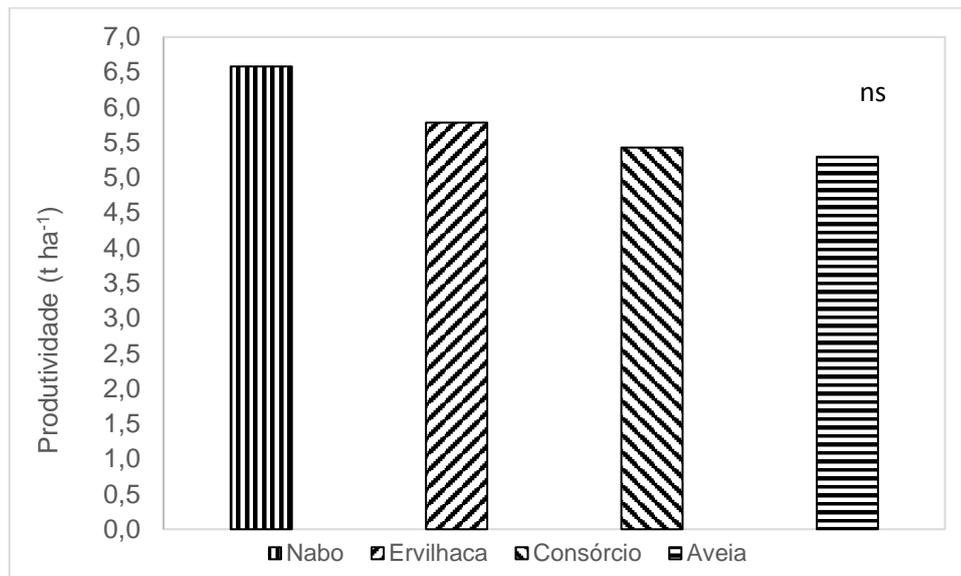


Figura 9 - Produtividade do milho proporcionada pelas diferentes plantas de cobertura

Como se pode observar na figura acima, houve apenas uma tendência de o nabo forrageiro promover acréscimo na produtividade do milho, muito provavelmente devido à mineralização no nitrogênio acumulado na biomassa durante o desenvolvimento da cultura, assim como pelo provável aumento formação de bioporos no solo (NICOLOSO et al., 2008).

Por outro lado, mesmo não havendo diferença estatística significativa a cultura da aveia preta proporcionou uma tendência negativa na produtividade do milho, reduzindo em 1,3 t ha<sup>-1</sup>. Essa redução provavelmente tenha decorrido, porque quando se adiciona biomassa de gramíneas ao solo verifica-se uma decomposição mais lenta do que as leguminosas e crucíferas devido a elevada relação carbono/nitrogênio (C/N). Assim ao invés da cultura disponibilizar nitrogênio a cultura estará imobilizando do solo (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Recomenda-se para isso a dessecação das gramíneas que sucedem o milho no mínimo 20 dias antes da semeadura,

sobretudo quando se utiliza herbicidas sistêmicos, devido a decomposição ser mais lenta (RUEDELL, 1995).

## 7. CONCLUSÃO

As operações de escarificação e subsolagem foram eficientes em reduzir a resistência à penetração, densidade do solo, aumentar a macroporosidade e porosidade total se comparado ao plantio direto, mesmo após a colheita da cultura de verão.

O plantio direto escarificado com o equipamento Terrus foi mais eficiente do que o subsolador Jumbo na manutenção da cobertura do solo.

Não houve diferença entre as espécies de planta de cobertura sobre a produtividade de grãos do milho.

Apesar de proporcionar melhorias nas características físicas do solo, às operações de escarificação e subsolagem não foram viáveis nas condições de elevada pluviosidade observada ao longo do desenvolvimento do estudo. Portanto, sugere-se a utilização de plantas de cobertura, especialmente consórcios que entreguem qualidade, tanto na relação C/N quanto na formação de biopóros no solo, amenizando ou mesmo prevenindo os efeitos da compactação do solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMADO, T.J.C. et al. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.679-686, 1999.

ARAÚJO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26. p.241-248, 2002.

ARAÚJO, A.G. **Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa**. Tese (Doutorado). São Paulo, 2008.

BERLATO, M.A. & FONTANA, D.C. **Previsão climática e sua aplicação na agricultura**. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. & CERETTA, C.A., orgs. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. p.99-113.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21. p.409-418, 1997.

BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. **No-tillage seeding**. London: CABI Publishing, 2002. 258 p.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**. v. 30. p.91-95, 2000.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A.; SIMON, M. A.; LAJÚS, C. R. **Dinâmica de restos culturais na superfície do solo em plantio direto escarificado**. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4, 2002, Porto Alegre. Resumo expandido. Porto Alegre:UFRGS, 2002. p. 43.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja**. Ciência Rural, Santa Maria, v35, n.4, p.813-819, 2005.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 132p. 1997.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; LLANILLO, R.F. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 77 p. 2012.

COSTA, J.P.V. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos**. 1998. 67p. Tese (Doutorado)., Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1998.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; SANTANA, D.P. Plantio direto e sustentabilidade agrícola. **Revista Plantio Direto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. F.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; NEVES DE OLIVEIRA, M.C. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 80p. 1992.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina: IAPAR, 272p, 1991.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 225p. 2006.

FRANCHINI, J.C.; TORRES, E.; GONÇALVES, S.L.; SARAIVA, O.F., **Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 2007.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.31, p. 627-636, 2007.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; LEONEL, C.L. compactação do solo e produção de cultivares de milho em LATOSSOLO VERMELHO – características de planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p.793-803, 2009.

FREITAS, P.L. **Aspectos físicos e biológicos do solo**. In: LANDERS, J.N., ed. Experiências de plantio direto no Cerrado. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.

GENRO JUNIOR, S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, 2002.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n.39, p. 419-431, 1996.

GIRARDELLO, V. C. **Qualidade física de um latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja**. Dissertação de Mestrado, Santa Maria, 2010.

HECKLER, I.C.; HERNANI, I.C.; PITO L, C. **Palha**. In: SALTON, I.C.; HERNANI, I.C.; FONTES, C.Z. Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Dourados: EMBRAPA-CPAO. p.37- 49. 1998

LARA CABEZAS, W.A.R. **Efeito ambiental e do manejo nas transformações de N em sistema de plantio direto. Uberlândia**, 280 p. 1999.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, G.C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado**. 2002. 78p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta: **Convênio FUNDACEP/BASF, FUNDACEP/FECOTRIGO**, 1995. 134 p.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina - DF: Embrapa cerrados, 2005. 26 p.

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

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. v.36, n.10, p.1269-1275, 2001.

SILVA, J. M. et al. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no cerrado. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 397-409, maio /ago. 2009.

SILVA JÚNIOR, R.L. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 117p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

SILVEIRA, G.M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 243 p. 1988.

STRECK, A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, mai-jun, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas**. 2005. 149p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25. p.725-730, 2001.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p.111-119, 1991.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

VIEIRA, L.M. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 115p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Passo Fundo e Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Passo Fundo, 2006.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., p.242-246, 1966 Apud BRANCALIÃO, S.R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.393-404, 2008.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M. REINERT, D.J. RHEINHEIMER, D.S.; AITA, C.; AMADO, T.J. **Agregação do solo relacionada com características biológicas, físicas e químicas de quatro microbacias hidrográficas monitoradas pelo programa RS – RURAL**. Departamento de Solos - UFSM, Santa Maria – RS.