

**MARCO SEGALLA PRAZERES**

**EFEITOS DE UMA ESCARIFICAÇÃO EM SEMEADURA DIRETA NOS  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DAS CULTURAS**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Coorientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol

**LAGES, SC.  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Prazeres, Marco Segalla

Efeitos de uma escarificação em semeadura direta  
nos atributos físicos do solo e das culturas / Marco  
Segalla Prazeres. - Lages , 2017.

70 p.

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Co-orientador: Ildegardis Bertol

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação , Lages,  
2017.

1. Manejo conservacionista. 2. Mobilização. 3.  
Sucessão vegetal. I. Barbosa, Fabrício Tondello. II.  
Bertol, Ildegardis. , .III. Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . IV.  
Título.

**MARCO SEGALLA PRAZERES**

**EFEITOS DE UM ESCARIFICAÇÃO EM SEMEADURA DIRETA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DAS CULTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

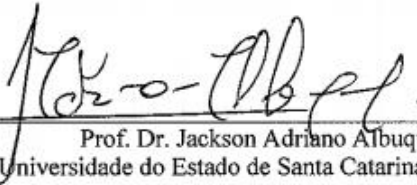
**Banca examinadora:**

Orientador/Presidente:



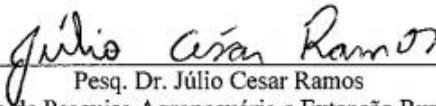
Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Membro Interno:



Prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC - CAV

Membro Externo:



Pesq. Dr. Júlio Cesar Ramos  
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI

**LAGES, SC, 17/02/2017**



Dedico essa dissertação aos meus pais, Reginaldo José e Maria Bernardete, a minha irmã, Camila, aos meus amigos e professores.



## AGRADECIMENTOS

À vida, o amor e a amizade que recebi dos meus pais Reginaldo José Prazeres e Maria Bernardete Segalla.

À minha irmã Camila e meu cunhado Eduardo pela compreensão nas horas boas e ruins.

Ao Silvio, amigo que tanto me apoia.

Ao meu orientador, Professor Doutor Fabrício Tondello Barbosa, pelo apoio recebido durante esta etapa.

Ao Professor Doutor Ildegardis Bertol, por ter me aceito como bolsista durante a minha graduação e pelos conhecimentos repassados.

Aos amigos, em especial o Tércio, que tanto colaborou para o acontecimento desta pesquisa, e o Everson, colega de moradia, um exemplo de ser humano de bem.

Amigos que me acompanharam e também deram suporte para o andamento da minha pesquisa, o Gustavo, Élcio, Eder, Gilmar, Diego, Rodrigo, Vinícius e Luran.

Aos professores da pós-graduação e aos colegas de laboratório, Neuro, Bárbara, Sônia e Romeu.





“Nenhum vento sopra a favor de  
quem não sabe para onde ir”

Sêneca



## RESUMO

PRAZERES, Marco Segalla. **EFEITOS DE UMA ESCARIFICAÇÃO EM SEMEADURA DIRETA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DAS CULTURAS.** 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC. 2017.

A semeadura direta, considerada manejo conservacionista de solo, fundamenta-se na quantidade e diversificação de resíduos vegetais na superfície do solo, e na mobilização apenas na linha de semeadura. No entanto, sua estrutura pode ser afetada pela compactação excessiva resultante do tráfego de máquinas, prejudicando o desenvolvimento vegetal. A pesquisa objetivou avaliar propriedades físicas do solo e o desempenho de culturas na presença e ausência de uma escarificação em semeadura direta, combinada com diferentes sucessões de espécies vegetais em um Cambissolo Húmico. O delineamento foi de blocos casualizados, com três repetições, em parcelas sub-subdivididas. Os tratamentos foram formados pelos manejos semeadura direta (SD) e semeadura direta submetida a uma única escarificação (SDE), ambos combinados com o cultivo das sequências de aveia preta/milho (A/M), aveia preta/feijão (A/F), trigo/milho (T/M), trigo/feijão (T/F), nabo forrageiro/milho (N/M) e nabo forrageiro/feijão (N/F). Amostras de solo foram coletadas em quatro camadas, no início do período experimental e ao final dos cultivos, enquanto que as determinações de produção vegetal foram realizadas nos cultivos de inverno e verão. A escarificação do solo afeta positivamente as propriedades físicas do solo, restritas a camada superficial de 0-5 cm, e os seus efeitos persistem por período de um ano para a maioria dos atributos, sendo pouco afetadas pelas sucessões vegetais. O rendimento de grãos (RG) e a massa seca de parte aérea (MS) das culturas de inverno não são influenciados pela escarificação. Nos cultivos de verão, milho e feijão seguem o mesmo comportamento para RG, porém o feijão responde de forma positiva em sucessão a aveia na SDE e a aveia e trigo na SD. A produção de MS do milho é maior após aveia e trigo em SDE e após nabo forrageiro em SD, enquanto o feijão tem a menor produção após nabo forrageiro.

**Palavras-chave:** Manejo conservacionista. Mobilização. Sucessão vegetal.



## ABSTRACT

PRAZERES, Marco Segalla. **EFFECTS OF A SCARIFICATION IN NO-TILL ON PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL PROPERTIES AND CROPS PERFORMANCE.** 2017. 70 f. Master's Dissertation in Soil Science – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Lages, 2017.

The no-till, considered soil conservation management, is based on the amount and diversification of vegetal residues on the soil surface, and on the mobilization only in the sowing line. However, its structure can be affected by the excessive compaction resulting from the traffic of machines, damaging the plant development. The objective of this research was to evaluate soil physical properties and crop performance in no-till with and without scarification, combined with different successions of plant species in Humic Cambisol. The design was of randomized blocks, with three replications, in sub-subdivided plots. The treatments were composed by no-till (NT) and no-till submitted to a single scarification (NTS), combined with the cultivation of black oat/maize (B/M), black oat/bean (B B), wheat/maize (W/M), wheat/bean (W/B), oilseed radish/maize (O/M) and oilseed radish/bean (O/F). Soil samples were collected in four layers, at the beginning of the experimental period and at the end of the crop, while the determinations of plant production were carried out in winter and summer crops. The soil scarification positively affected the physical properties of the soil, restricted to the superficial layer of 0-5 cm, and its effects persisted for a period of one year for most of the attributes, being little affected by the plant successions. The grain yield (GY) and shoot dry mass (DM) of winter crops were not influenced by scarification. In the summer, corn and bean crops followed the same behavior for GY, but beans responded positively in succession to oats in NTS and oats and wheat in NT. The DM production of corn was higher after oats and wheat in NTS and after oilseed radish in NT, while the bean had the lowest production after oilseed radish.

**Key-words:** Conservation management. Mobilization. Vegetable succession.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Croqui da área experimental .....	39
Figura 2 - Imagem da escarificação do solo antecedendo os cultivos das espécies invernais. ....	40
Figura 3 - Imagem dos anéis concêntricos durante teste realizado após a escarificação do solo. ....	42





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.....	44
Tabela 2 - Macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.....	45
Tabela 3 - Densidade relativa (DR) e resistência do solo à penetração (RP), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.....	47
Tabela 4 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.....	48
Tabela 5 - Taxa final de infiltração de água no solo (VIB) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos. ....	49
Tabela 6 - Densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas. ....	50
Tabela 7 - Macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas .....	52
Tabela 8 - Densidade relativa (DR) e resistência do solo à penetração (RP), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas. ....	54
Tabela 9 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.....	56
Tabela 10 - Taxa final de infiltração de água no solo (VIB) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos. ....	59
Tabela 11 - Rendimento de grãos e produção de massa seca da parte aérea das culturas de inverno nos diferentes tratamentos. ....	60
Tabela 12 - Rendimento de grãos de milho e feijão nos diferentes tratamentos. ....	61
Tabela 13 - Massa seca de parte aérea de milho e feijão nos diferentes tratamentos.....	62



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>25</b>
2.1 MANEJO DO SOLO .....	25
2.1.1 Sistemas de manejo semeadura direta .....	25
2.1.2 Compactação do solo em áreas agrícolas .....	26
2.1.3 Descompactação biológica e mecânica do solo .....	28
2.2 CARACTERÍSTICAS DE ESPÉCIES VEGETAIS E SEUS EFEITOS NO SOLO.....	30
2.2.1 Espécies vegetais de inverno .....	30
2.2.1.1 Nabo Forrageiro ( <i>Raphanus sativus L.</i> ).....	30
2.2.1.2 Aveia- preta ( <i>Avena strigosa</i> ).....	31
2.2.1.3 Trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> ) .....	32
2.2.2 Espécies vegetais de verão.....	32
2.2.2.1 Feijão preto comum ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ) .....	33
2.2.2.2 Milho ( <i>Zea mays L.</i> ).....	33
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	<b>35</b>
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>36</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	37
5.2 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	37
5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	38
5.4 MANEJO DA ÁREA DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	39
5.5 COLETAS E DETERMINAÇÕES .....	41
5.5.1 Atributos físicos do solo .....	41
5.5.2 Produção vegetal.....	42
5.6 ANÁLISE DOS DADOS .....	43
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>



6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	44
<b>6.1.1 Após a escarificação do solo.....</b>	<b>44</b>
6.1.1.1 <i>Densidade e porosidade total.....</i>	44
6.1.1.2 <i>Macroporosidade e microporosidade .....</i>	45
6.1.1.3 <i>Densidade relativa e resistência à penetração.....</i>	46
6.1.1.4 <i>Estabilidade de agregados .....</i>	47
6.1.1.5 <i>Infiltração de água no solo.....</i>	48
<b>6.1.2 Ao final dos cultivos em sucessão .....</b>	<b>49</b>
6.1.2.1 <i>Densidade e porosidade total.....</i>	49
6.1.2.2 <i>Macroporosidade e microporosidade .....</i>	51
6.1.2.3 <i>Densidade relativa e resistência à penetração.....</i>	53
6.1.2.4 <i>Estabilidade de agregados .....</i>	56
6.1.2.5 <i>Infiltração de água no solo.....</i>	58
6.2 PRODUÇÃO VEGETAL.....	59
<b>6.2.1 Rendimento de grãos e massa seca de parte aérea das culturas de inverno .....</b>	<b>59</b>
<b>6.2.2 Rendimento de grãos e massa seca de parte aérea das culturas de verão.....</b>	<b>60</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade agrícola depende do adequado uso do solo, por isso, um dos objetivos das pesquisas em manejo do solo é desenvolver técnicas adaptadas para evitar os processos de degradação física, química e biológica dos solos, bem como contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do sistema solo, planta e atmosfera, favorecendo a obtenção de adequadas produtividades nas culturas.

O sistema semeadura direta tem se expandido nas últimas décadas, considerada importante técnica de conservação do solo, por proporcionar a redução da erosão e influenciar positivamente os seus atributos. Este sistema de manejo caracteriza-se pelo mínimo revolvimento do solo e sua viabilidade é amparada pela rotação de culturas, cujo objetivo principal é o aporte e manutenção constante de resíduos culturais na superfície do solo. No entanto, esse sistema pode apresentar como desvantagens a redução da macroporosidade e da porosidade total na camada superficial do solo, decorrentes do mínimo revolvimento e do intenso tráfego de máquinas e implementos.

Em semeadura direta, o adensamento superficial do solo é um processo que ocorre de forma natural, com conseqüente aumento do volume de microporos e diminuição do volume de macroporos na camada superficial do perfil, com pouca modificação nas camadas abaixo. Existem diversos fatores que influenciam diretamente na densidade do solo, como textura, teor de matéria orgânica, tipos de máquinas e implementos usados no preparo, o tamanho, a forma e a pressão dos pneus e o número de passadas da máquina. Outro fator importante refere-se à umidade no momento das operações agrícolas, a qual tem grande influência na redução e na redistribuição do espaço poroso. A intensidade destes fatores pode contribuir para o aumento da densidade de forma demasiada e caracterizar o processo de compactação do solo, afetando o desenvolvimento das culturas. Isso ocorre como conseqüência da elevada resistência do solo à penetração das raízes, limitando a camada e o volume de solo explorado, da redução da aeração e do conteúdo de água disponível.

A escarificação esporádica do solo, em determinadas situações, pode ser uma alternativa adotada para reduzir a compactação do solo em semeadura direta e, conseqüentemente, diminuir a resistência mecânica do solo ao desenvolvimento radicular. Esta prática, ainda com carência de informações, pode apresentar respostas positivas e ser uma alternativa de manejo, melhorando as propriedades físicas do solo com conseqüente aumento na produtividade das culturas. Por isso, torna-se necessário compreender melhor

o efeito de uma escarificação em semeadura direta e sua interação com o tipo de sucessão vegetal utilizada, sobre os atributos do solo e o rendimento de culturas, bem como seu efeito ao longo do tempo.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 MANEJO DO SOLO**

A produção agrícola é condicionada pela ação de vários fatores. As práticas de manejo são inovações introduzidas pelo homem no desejo de aumentar as colheitas e de cultivar as mais diversas espécies vegetais. Os sistemas de manejo do solo têm sido estudados visando à manutenção da fertilidade do solo, controle da erosão e à redução do custo das operações, para proporcionar maior rendimento, com sustentabilidade (MONEGAT, 1991).

#### **2.1.1 Sistema de manejo semeadura direta**

Esta técnica foi introduzida no final da década de 1960 na região sul do país como uma opção conservacionista e com ampla adaptação em diversas regiões e níveis tecnológicos. No entanto, seus principais problemas eram o manejo de plantas daninhas, as doenças de solo e a dificuldade de penetração dos discos da semeadora sobre os restos vegetais, o que afetava a germinação das sementes (JUNIOR, 2012). Em função disso, a semeadura direta foi disseminada e expandida com expressão a partir do início da década de 1990, após a superação de entraves tecnológicos (LANZANOVA, 2009).

A semeadura direta representa o manejo com mínima mobilização mecânica do solo para fins de produção agrícola. A presença de resíduos na superfície protege o solo do impacto das gotas de chuva e da incidência direta do sol, enquanto que a perturbação mínima aumenta a atividade biológica, bem como a retenção de ar e água nesse sistema (BUSARI et al., 2015). Bertol et al. (2000) ressaltam que a semeadura direta é considerada um manejo conservacionista de solo, pois o mínimo revolvimento preserva os resíduos culturais e eleva o teor de matéria orgânica do solo, apesar de aumentar a densidade e diminuir a porosidade da superfície.

A base de sustentação do sistema semeadura direta consiste, além da mobilização reduzida do solo, na rotação de culturas capazes de produzirem e manterem, por maior período de tempo, grande e diversificada quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo (ANDRADE, 2009). Outras vantagens são as reduções das perdas de solo, água e conseqüentemente de nutrientes, o que proporciona aumento na produtividade de algumas culturas, além de proporcionar a recuperação da estabilidade da estrutura, mas não

necessariamente dos atributos relacionados à densidade e à porosidade do solo (FLORES et al., 2008).

Em um Cambissolo Húmico manejado sob semeadura direta, após doze anos de cultivo, as propriedades físicas do solo se mantiveram adequadas ao desenvolvimento das culturas, não havendo necessidade de interromper este sistema de manejo (ANDRADE, 2009). Na mesma área, após vinte anos de cultivo, constatou-se na semeadura direta redução da densidade do solo e aumentos da estabilidade de agregados e do grau de flocculação da argila, quando comparada ao manejo do solo sob preparo convencional, com arado e grade (BROWN, 2015).

A semeadura direta, em virtude do mínimo revolvimento do solo, preserva os agregados da fragmentação mecânica dos implementos, mantém a cobertura do solo e consolida a camada superficial (BERTOL et al., 2004). No entanto, a reduzida mobilização do solo, aliado ao tráfego de máquinas, acarreta alterações na sua estrutura que, associada à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água, modificando sua dinâmica nesse sistema (CAMARA et al., 2005).

Algumas desvantagens ou entraves tecnológicos tem motivado o retorno dos agricultores aos métodos tradicionais de preparo convencional ou de algum tipo de mobilização de solo, visando corrigir problemas como a excessiva compactação do solo em superfície, decorrente do mínimo revolvimento e do tráfego intensivo de máquinas agrícolas (TORMENA et al., 1998). No sistema semeadura direta é comum a ocorrência de compactação subsuperficial do solo, e dependendo do seu grau, poderá prejudicar o desenvolvimento das plantas (MAHL et al., 2008).

### **2.1.2 Compactação do solo em áreas agrícolas**

O termo compactação refere-se à compressão do solo não saturado, durante a qual ocorre um aumento da densidade, em consequência da redução de volume pela expulsão do ar (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996). Adensamento, por sua vez, é o fenômeno de deposição de partículas menores no espaço poroso, devido à desagregação da estrutura física do solo, causando aumento da massa de determinada porção do solo e mantendo constante o volume inicial, o que causa, também, aumento da densidade do solo (STONE et al., 2002), sem a participação direta da pressão exercida sobre o solo (SILVA et al., 2005).

A compactação altera a estrutura do solo e reorganiza as partículas de seus agregados (STONE et al., 2002), aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração, com

consequente redução da porosidade, principalmente da macroporosidade ou porosidade de aeração (REICHERT, 2003). Em função disso, tais atributos permitem indicar estratégias de manejo que minimizem os efeitos negativos deste processo (COLLARES et al., 2006).

A densidade do solo e a resistência do solo à penetração são os atributos mais utilizados para avaliar a compactação do solo, tendo estreita correlação inversa com o crescimento radicular (MONTANARI et al., 2010).

A água exerce grande influência no processo de compactação. Quando o solo está com baixo teor de umidade, sua coesão dificulta a desintegração de agregados e o movimento das partículas para um novo rearranjo, mas à medida que aumenta o teor de água, é provocado um efeito lubrificante entre as partículas, que deslizam entre si e se acomodam num arranjo mais compacto (KLEIN, 2014).

Albuquerque et al. (2001) ressaltam que a compactação do solo é uma das principais causas da degradação em áreas cultivadas. Alterações físicas provocadas pela compactação afetam a qualidade do solo, pois modificam os fluxos de ar e água (REINERT et al., 2008), influenciando na concentração de oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o desenvolvimento das plantas (REICHERT, 2003). Assim, nos sistemas de manejo do solo, devem-se adequar formas de cultivo e práticas de preparo do solo que mantenham a estrutura do solo favorável ao crescimento vegetal (SILVA et al., 2000).

As diversas formas de manejar o solo têm por finalidade criar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Contudo, o preparo intenso e periódico do solo associado a condições críticas, como elevados teores de umidade, e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas, podem levar a modificações na sua estrutura, causando-lhe compactação e interferindo nos seus atributos e influenciando na produtividade das culturas (DE MARIA et al., 1999).

O preparo intensivo do solo contribui para a sua degradação física. O cultivo convencional promove intenso revolvimento do solo na camada arável, favorecendo a decomposição da matéria orgânica e dos resíduos culturais ocasionando efeito prejudicial na estrutura do solo (BERTOL et al., 2001). Além, disso, cria camadas subsuperficiais compactadas, reduzindo a capacidade de infiltração de água no solo, a penetração de raízes e o suprimento de oxigênio às plantas (DALLA ROSA, 1981).

Em sistemas de manejo onde não há revolvimento do solo, a compactação é mais restrita à sua superfície (REICHERT et al., 2007). Tal comportamento tem sido observado em semeadura direta, onde a mobilização ocorre apenas na linha de semeadura. Problemas oriundos da utilização de máquinas de elevada massa e em condições de umidade do solo

acima do ponto de friabilidade no momento das operações agrícolas, podem ultrapassar a capacidade de suporte de carga do solo, ocorrendo deformações plásticas (MAZURANA et al., 2011).

Aliados aos prejuízos causados à estrutura do solo e ao crescimento e desenvolvimento das plantas, os processos de compactação do solo interferem diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas, promovendo, dentre outros, incremento na demanda de potência para tração. Quando a compactação do solo se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento das culturas, é necessária a adoção de medidas mitigatórias para o seu controle (DRESCHER et al., 2011).

### **2.1.3 Descompactação biológica e mecânica do solo**

A descompactação através de processos biológicos e mecânicos têm por objetivos aumentar a porosidade do solo e reduzir a sua densidade e resistência mecânica ao crescimento radicular, rompendo camadas superficiais encrostadas e subsuperficiais adensadas. Em função disso, melhora o desenvolvimento radicular das plantas, eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água, aumenta a permeabilidade do solo e facilita a troca de gases com a atmosfera (KOCHHANN e DENARDIN, 2000).

Práticas de manejo que incluam sistemas de rotação de culturas com utilização de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido (método biológico) e produção de biomassa abundante, contribuem para diminuir os efeitos da compactação. Além disso, o aporte contínuo de compostos orgânicos é essencial para recuperar e manter as características físicas do solo (CUBILLA et al., 2002). As plantas destinadas para cobertura do solo tem capacidade de produzir elevada quantidade de biomassa e reciclar os nutrientes do solo, resultando em efeitos positivos sobre a fertilidade do solo e sua estrutura (KUBOTA et al., 2005). Wolschick et al. (2016) observaram elevada produção de biomassa vegetal utilizando plantas de cobertura do solo de inverno, com destaque para a aveia preta e o consórcio de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro, tendo nestes tratamentos as maiores produções de massa de parte aérea e do sistema radicular.

Plantas de cobertura são alternativas que podem ser usadas em solos com compactação excessiva, mas dependendo do valor da densidade do solo pode ser necessária a sua mobilização com o uso de escarificadores ou subsoladores, dependendo da camada compactada (REINERT et al., 2008).

O processo mecânico de descompactação do solo se baseia no rompimento de camadas compactadas com uso de equipamentos motomecanizados, estes normalmente operam em camadas mais profundas que implementos de preparo do solo. Os implementos preferencialmente indicados para esse fim devem ser equipados com hastes (escarificadores ou subsoladores), por causarem menor intensidade de mobilização do solo e maior facilidade de penetração em função de sua área superficial reduzida (KOCHHANN e DENARDIN, 2000).

Entre as várias técnicas de mobilização para o rompimento de camadas compactadas, a escarificação apresenta aspectos positivos para um manejo conservacionista (COLET et al., 2009), por revolvê-lo pouco, pulverizar menos, afetar em menor grau a estabilidade dos agregados, aumentar a rugosidade, a permeabilidade e melhorar as condições físico-hídrico-mecânicas do solo para o desenvolvimento das plantas, especialmente pela redução da resistência à penetração (CAMARA, 2004). Este tipo de preparo substitui com vantagem a aração e a gradagem, desde que se reduza o número de passadas. Além disso, possibilita a permanência de resíduos culturais na superfície, o que é desejável para a proteção do solo (VIEIRA, 2006).

Em estudo desenvolvido por Klein (2011), a escarificação em semeadura direta alterou as propriedades físicas do solo, reduzindo a densidade e aumentando a porosidade total, em especial, os macroporos, além de reduzir a resistência do solo à penetração das raízes. O mesmo autor observou no solo escarificado maior rendimento de grãos de milho e maior rendimento de massa seca de parte aérea de aveia. Por outro lado, Camara (2004) comparando alterações nas propriedades físicas do solo em semeadura direta com e sem escarificação, verificou que os componentes do rendimento de grãos da cultura da soja não apresentaram diferenças entre os sistemas de manejo de solo. Kunz et al. (2013), verificaram que a escarificação não foi uma prática eficaz para reduzir o efeito da compactação em integração soja-pecuária com semeadura direta. Debiasi et al. (2010), avaliando o efeito de plantas de cobertura e a descompactação mecânica do solo em semeadura direta, verificou que a escarificação reduziu a produtividade da soja e do milho.

Alguns autores afirmam que a intervenção mecânica em solo manejado em semeadura direta, mediante a aração ou a escarificação, mostrou potencial efêmero para mitigar a compactação do solo (DRESCHER et al., 2011). Cubilla et al. (2002) afirmam que a descompactação do solo utilizando métodos mecânicos isolados, como a escarificação, possuem efeito transitório se não forem feitas em conjunto com práticas de manejo que visem aumentar a estabilidade dos agregados do solo. Portanto, a necessidade de escarificação de

solos sob sistema de semeadura direta ainda é um tema controverso (KUNZ et al., 2013). Nicoloso et al. (2008), estudando o efeito da eficiência dos métodos mecânico (escarificador) e biológico (nabo forrageiro) de descompactação do solo, ou de ambos associados, em promover a melhoria dos atributos físicos, atribuíram ao efeito do sistema radicular pivotante e bem desenvolvido das plantas de nabo forrageiro como opção para reduzir a compactação do solo, pois esta espécie possui capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo. Os mesmos autores concluíram que esta espécie foi eficiente em aumentar a macroporosidade do solo, diminuir a resistência do solo à penetração e melhorar a infiltração de água em um Latossolo de textura argilosa inicialmente compactado.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE ESPÉCIES VEGETAIS E SEUS EFEITOS NO SOLO

### 2.2.1 Espécies vegetais de inverno

A escolha de espécies vegetais de inverno influencia a conservação e o manejo do solo. A espécie utilizada depende da disponibilidade de sementes e do objetivo do seu cultivo ou da cultura que será utilizada após o seu manejo. As espécies mais utilizadas podem ser cultivadas individualmente ou consorciadas entre si. As gramíneas desempenham um importante papel na cobertura do solo, pois possuem alta capacidade de produção de resíduos, com relação carbono:nitrogênio (C:N) elevada e, portanto, velocidade menor de decomposição. Crucíferas como o nabo forrageiro, devido a sua raiz pivotante, aumentam a porosidade do solo, favorecendo a infiltração de água, o desenvolvimento de microorganismos e de raízes das plantas subsequentes. Apresentam, também, elevada capacidade de reciclar nutrientes, ou seja, retirá-los de camadas mais profundas e levá-los para a superfície do solo (PITOL & SALTON, 1993).

#### 2.2.1.1 Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

O nabo forrageiro pertence à família crucífera, é uma planta herbácea, ereta, muito ramificada, anual, alógama, rústica e que pode atingir de 1,0 a 1,8 m de altura, reproduzindo-se por sementes (DERPSH & CALEGARI 1992). Esta espécie vem sendo utilizada para adubação verde de inverno e como planta de cobertura do solo, principalmente em sistemas de

manejo conservacionistas como a semeadura direta e o cultivo mínimo (WOLSCHICK, 2014).

É uma cultura recomendada para cobertura do solo, com crescimento inicial rápido e com elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, além de apresentar desenvolvimento razoável em solos com nível de acidez elevado. Esta espécie pode ser implantada através do preparo convencional, preparo mínimo (uma ou duas gradagens), escarificação ou por semeadura direta, conforme as condições do agricultor (CALEGARI, 1993).

Em relação à produção de sementes, apresenta produtividade que varia de 300 a 500 kg ha<sup>-1</sup> (TOMM et al., 2003; DERPSH & CALEGARI, 1992). Quando utilizado como adubo verde, a época ideal para o manejo é no florescimento, onde a produção de massa seca pode variar de 2.000 a 6.000 kg ha<sup>-1</sup> (DERPSH & CALEGARI, 1992).

Crusciol et al. (2005) obteve elevada quantidade de massa seca da parte aérea em cultivo de inverno ( 2.938 kg ha<sup>-1</sup>), até o estágio de pré-florescimento.

#### 2.2.1.2 Aveia preta (*Avena strigosa*)

A aveia preta pertence à família poacea, é uma planta cespitosa, anual, com colmos cilíndricos, eretos e glabros, raiz fasciculada, inflorescência em panícula com glumas aristadas e o grão é uma cariopse indeiscente encoberto pelo lema e páleas. A época ideal para a semeadura, no sul do Brasil, é a partir de março, podendo estender-se até junho, sendo sua semeadura realizada em linha ou a lanço (CALEGARI, 1993).

Na última década, a semeadura direta apresentou forte expansão na região sul do Brasil, tendo a aveia preta como principal cultura de cobertura no outono/inverno, antecedendo as culturas comerciais de verão (GIACOMINI et al., 2004). Como adubação verde, protege o solo cobrindo-o rapidamente, melhorando as características físicas (pelas raízes e resíduos da parte aérea) e químicas (reciclagem de nutrientes) do solo (CALEGARI, 2004).

No ano agrícola de 2015, o Brasil produziu 61,4 mil toneladas de grãos de aveia, 69% superior ao ano anterior, sendo a produtividade média alcançada de 1.544 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). O rendimento médio de massa seca é de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> (WULTKE, 2014), podendo apresentar variação em função das características edafoclimáticas peculiares de cada região. Doneda et al. (2012) avaliando plantas de cobertura em um Latossolo Vermelho no Rio Grande do Sul, obteve 3.300 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca da parte aérea em cultivo solteiro, enquanto. Wolschick et al. (2016) na mesma área, obtiveram 9.908 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca da

parte aérea em um Cambissolo Húmico no planalto sul de Santa Catarina.

Wolschick et al. (2016) avaliando a produção da biomassa vegetal de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo, verificou que a aveia preta apresentou maior produção de raízes que ervilhaca, nabo forrageiro, pousio e consórcio entre espécies. Quando a aveia preta foi combinada com outras espécies de plantas de cobertura, proporcionou maiores valores de altura de plantas, altura de inserção das espigas e diâmetro de colmos de milho (CARVALHO et al., 2007).

### 2.2.1.3 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo pertence à família poacea e apresenta características morfológicas muito semelhantes às dos demais cereais de inverno, que têm a mesma finalidade de produção de grãos (cevada, aveia, centeio e triticale). Possui dois grupos de raízes, seminais e adventícias. Suas folhas são compostas por bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas na base da lâmina. A inflorescência do trigo é uma espiga composta, dística, formada por espiguetas alternadas e opostas no ráquis, além de sua semente ser uma cariopse (SCHEEREN, 1986).

Essa espécie anual, sensível ao alumínio no solo, é destinada, sobretudo à produção de grãos alimentícios, apresenta rendimento médio de 3.000 a 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (WULTKE, 2014). Secco et al. (2005) constatou que a cultura do trigo mostrou-se sensível ao estado de compactação do solo, e os sistemas de manejo do solo com maior mobilização proporcionaram condições mais adequadas a esta cultura.

A cultura do trigo, embora seja destinada ao cultivo comercial de grãos, proporciona proteção física do solo durante a estação fria e fornecimento de palha para o cultivo seguinte, embora tenha capacidade limitada de produção de resíduos vegetais. Em estudo realizado por Barbosa et al. (2012), os autores observaram produção de 3.600 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca de parte aérea de trigo em um Nitossolo Bruno.

## 2.2.2 Espécies vegetais de verão

As espécies vegetais de verão são influenciadas pela cultura antecessora. A escolha da espécie utilizada depende de diversos fatores, como econômicos, climáticos, características do solo e a disponibilidade para a região.



### 2.2.2.1 Feijão preto comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão preto comum pertence à família fabaceae e constitui-se numa das mais representativas explorações agrícolas comerciais no país, não só pela área de cultivo, como também pelo valor da produção. Trata-se de um componente importante na alimentação básica da população nacional, por ser rico em proteínas e ferro (MONTANARI et al., 2010). É uma cultura de ciclo curto, com sistema radicular superficial, é exigente em nutrientes, produz pouca palha e devido a sua baixa relação carbono/nitrogênio, decompõe rapidamente no solo (CTSBF, 2012).

Com ciclo produtivo em torno de 90 dias, a cultura do feijão é importante na sucessão de cultivos ao longo do ano, por isso o manejo do solo deve garantir condições para o desenvolvimento radicular do feijoeiro comum, sobretudo do seu sistema radicular. Além disso, deverão ser propiciadas condições físicas e biológicas do solo, igualmente favoráveis o pleno desenvolvimento da cultura. O maior volume de raízes está concentrado nos primeiros 20 cm de perfil do solo (BARBOSA & GONZAGA, 2012).

Silva et al (2007) com o objetivo de avaliar os efeitos da densidade populacional na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), obteve rendimentos médios de grãos entre 1.140 e 1.700 kg.ha<sup>-1</sup>. Em relação ao aporte de resíduos vegetais, Brown (2015) avaliando, diferentes sistemas de manejo do solo, obteve em média 1.560 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca da parte aérea para a cultura do feijão.

### 2.2.2.2 Milho (*Zea mays* L.)

O milho é uma espécie que pertence à família poaceae, classificada botanicamente como uma planta herbácea, monocotiledônea, com raízes fasciculadas e caule do tipo colmo (DA SILVA AGUIAR et al., 2015). Esta planta tem como finalidade a alimentação humana e animal, devido às suas elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todas as proteínas conhecidas (BARROS et al., 2014).

Após 18 anos de cultivo, os rendimentos de grãos da cultura do milho, foram 6,40 e 5,86 kg ha<sup>-1</sup> para semeadura direta e plantio convencional, respectivamente. Na mesma área, a massa seca de resíduos da parte aérea atingiu 7,89 kg ha<sup>-1</sup>, 64% superior ao preparo convencional (BROWN, 2015).

Giacomini et al. (2004), estudando plantas de cobertura de inverno sobre a produtividade do milho e seus componentes, concluiu que a ervilhaca e o nabo forrageiro,

tanto em culturas puras como consorciados à aveia, proporcionaram maior produtividade de milho, em comparação ao pousio e a aveia solteira.

Em sistema semeadura direta, a cobertura com aveia preta e nabo forrageiro proporcionou maior produtividade de grãos de milho em comparação à ervilhaca solteira (CARVALHO et al., 2007). Santos et al. (2010), afirmam que o uso de adubação verde influencia positivamente nas características vegetativas e produtivas da cultura do milho, mesmo na ausência da adubação nitrogenada mineral sob semeadura direta. Por outro lado, Bayer et al. (1998), avaliando diferentes sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho, observaram que os métodos de preparo não afetaram o rendimento da cultura.

### **3 HIPÓTESES**

Uma única escarificação no solo manejado sob semeadura direta afeta positivamente as propriedades físicas e o rendimento de sucessões de espécies vegetais em Cambissolo Húmico, em relação à semeadura direta.

Os efeitos sobre os atributos físicos do solo resultantes de uma única escarificação em solo manejado sob semeadura direta persistem por período de um ano, sendo dependente do tipo de sucessão de espécie vegetal utilizada.

#### **4 OBJETIVOS**

Geral:

Avaliar propriedades físicas do solo e o desempenho de culturas na presença e ausência de uma escarificação em semeadura direta combinada com diferentes sucessões de espécies vegetais, em um Cambissolo Húmico.

Específicos:

Determinar os atributos físicos (densidade, porosidade total, macroporos, microporos, estabilidade de agregados, densidade relativa, infiltração de água, resistência do solo à penetração mecânica) nos tratamentos formados pela presença e ausência de uma escarificação em semeadura direta combinada com diferentes sucessões de espécies vegetais.

Quantificar a produção de biomassa vegetal de parte aérea e o rendimento de grãos de espécies vegetais em solo manejado sob semeadura direta na presença e ausência de uma escarificação.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado entre junho de 2015 e junho de 2016, em campo experimental localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, situado no município de Lages, região do planalto sul catarinense. O clima do local, segundo critérios estabelecidos pela classificação de Köppen, é do tipo Cfb (subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos), com precipitação média anual de 1.533 mm (SCHICK et al., 2014). O relevo da área experimental é suave ondulado com pendentes que variam de 300 a 350 metros de comprimento.

A pesquisa foi desenvolvida em um Cambissolo Húmico aluminico léptico, situado a 27° 47' de latitude sul e 50° 19' de longitude oeste, com 937 m de altitude média. O solo é derivado da alteração de siltitos da formação Rio do Rasto e localiza-se próximo a um topo de elevação, com granulometria de 421 g kg<sup>-1</sup> de argila, 437 g kg<sup>-1</sup> de silte e 142 g kg<sup>-1</sup> de areia na camada de 0-20 cm (ALMEIDA et al., 2005).

### 5.2 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área experimental, originalmente com campo nativo, foi cultivada durante 22 anos antes da instalação do experimento, com uma sequência de ervilhaca, milho, soja, nabo forrageiro e feijão. Durante esse período a área passou por diferentes tipos de manejo. Nos primeiros 5 anos os cultivos foram feitos com preparo do solo, através de uma aração e duas gradagens, e nos 10 anos seguintes, os cultivos foram com mínimo revolvimento do solo. A partir do ano de 2008 implantou-se um experimento na área com o objetivo de avaliar a rugosidade superficial do solo ocasionada por diferentes preparos (CORREA et al., 2012).

Durante o período de março de 2005 a fevereiro de 2008, a área foi mantida sem cultivo (em pousio). Em 2011 a área foi mobilizada para incorporação ao solo de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 80 %) até a camada de 0,2 m, por meio de duas operações de escarificação e uma de grade niveladora.

Em junho de 2013 foi realizada nova correção da acidez do solo com aplicação superficial de 10 Mg ha<sup>-1</sup> e calcário dolomítico (PRNT 80 %). Entre abril de 2013 e maio de

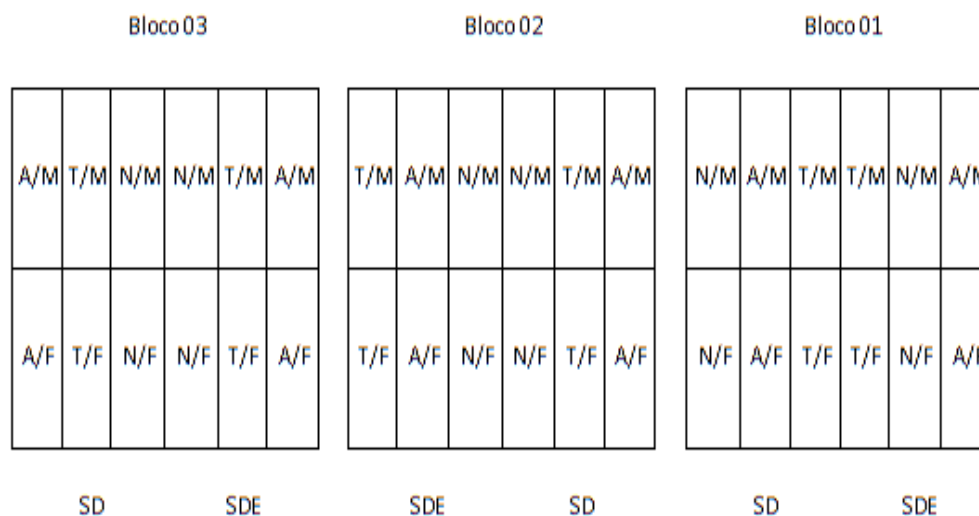
2014 a área experimental foi conduzida sob semeadura direta com os cultivos de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro no outono/inverno e de milho e soja na primavera/verão. No início do experimento a área apresentava reduzido valor de macroporosidade do solo (WOLSCHICK, 2014). Em junho de 2015 deu-se início ao experimento.

### 5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de manejo do solo: semeadura direta (SD), caracterizada pelo mínimo revolvimento do solo, e semeadura direta submetida a uma única escarificação (SDE), ambos combinados com o cultivo de seis sequências de espécies vegetais, sendo elas: aveia preta/milho (A/M), aveia preta/feijão (A/F), trigo/milho (T/M), trigo/feijão (T/F), nabo forrageiro/milho (N/M) e nabo forrageiro/feijão (N/F). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas.

As parcelas experimentais tinham dimensões de 6 x 10 m (60 m<sup>2</sup>) e constituíram os tipos de manejo do solo (SD e SDE). As subparcelas tinham dimensões de 2 x 10 m (20 m<sup>2</sup>) e constituíram os cultivos invernais (aveia, trigo e nabo forrageiro), enquanto as sub-subparcelas tinham dimensões de 2 x 5 m (10 m<sup>2</sup>) e constituíram os cultivos das espécies comerciais de estação quente (milho e feijão). Para isso, após o primeiro período sob os cultivos invernais (trigo, aveia preta e nabo forrageiro), cada subparcela foi dividida ao meio em relação ao seu comprimento, para implantação das culturas de milho e feijão. O croqui da área experimental é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Croqui da área experimental



Fonte: Produção do próprio autor

Notas: A/M= Aveia preta/Milho; A/F= Aveia preta/Feijão; N/M= Nabo forrageiro/Milho; N/F= Nabo forrageiro/Feijão; T/M= Trigo/Milho; T/F= Trigo/Feijão; SD= Semeadura direta; SDE= Semeadura direta com uma única escarificação.

#### 5.4 MANEJO DA ÁREA DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Em maio de 2015, antes da implantação do experimento, foi realizada a aplicação do herbicida Glifosato ( $3 \text{ L ha}^{-1}$ ) para controle das plantas espontâneas presentes no local. Na mesma época, foi realizada a passagem com o rodado do trator em toda a superfície da área experimental, em condição de solo com teor de umidade acima da sua consistência friável, intensificando o processo de compactação do solo. Após isso, em junho de 2015, um mês antes da semeadura das espécies invernais, foi realizada uma operação de escarificação nas parcelas que receberam tal tratamento (Figura 2). A escarificação foi feita sobre o solo com teor de água próximo ao ponto de friabilidade e com cobertura de resíduos vegetais da cultura anterior. O escarificador continha duas linhas de hastes desencontradas, sendo a linha dianteira composta por sete hastes e a traseira por seis hastes, com distância de 0,5 m entre elas. Com isso, a operação de escarificação resultou em sulcos distanciados em 0,25 m, com capacidade de atuação de 0,25 m de profundidade.

Figura 2 - Imagem da escarificação do solo antecedendo os cultivos das espécies inverniais.



Fonte: produção do próprio autor

A semeadura dos cultivos inverniais ocorreu em 29 de julho de 2015, com 80 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes nos tratamentos de aveia (A) e nabo forrageiro (N) respectivamente. Para o tratamento com trigo (T) utilizou-se 330 sementes viáveis/m<sup>2</sup>. A semeadura ocorreu com o auxílio de uma semeadora de parcelas experimentais com espaçamento entre linhas de 0,20 m, perfazendo um total de 10 linhas por parcela.

Foram aplicados 75 kg ha<sup>-1</sup> do adubo superfosfato triplo (41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 20 kg ha<sup>-1</sup> do adubo cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e 45 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de N) no momento da semeadura e 90 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura, 35 dias após a semeadura em todos os tratamentos. O manejo da adubação seguiu recomendações descritas em CQFS RS/SC (2004).

No mês dezembro de 2015, após manejar as culturas inverniais pela distribuição uniforme de sua biomassa vegetal com auxílio de roçadeira, as culturas de milho (*Zea mays* L.) e feijão preto comum (*Phaseolus vulgaris* L.) foram implantadas. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a densidade foi de 80.000 e 300.000 plantas ha<sup>-1</sup> de milho e feijão, respectivamente. A semeadura foi feita com auxílio de semeadora manual (saraquá) e a adubação foi realizada de acordo com a recomendação para cada cultura, conforme descrito em CQFS RS/SC (2004), sendo aplicados 150 e 85 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 e 80 e kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 145 e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente para milho e feijão.

O controle de plantas espontâneas durante o ciclo de desenvolvimento das culturas inverniais foi realizado de forma manual, enquanto no cultivo de verão foram aplicados herbicidas sistêmicos e de contato. Não foram utilizados inseticidas e fungicidas durante o ciclo das espécies de interesse, devido aos baixos índices de incidência de pragas e doenças.



## 5.5 COLETAS E DETERMINAÇÕES

### 5.5.1 Atributos físicos do solo

As determinações dos atributos físicos do solo foram realizadas em duas épocas, a primeira após o preparo do solo e anterior a semeadura das culturas de inverno, em junho de 2015, e a segunda, em maio de 2016, após o ciclo de desenvolvimento das culturas de verão, na linha de cultivo.

Foram abertas trincheiras para coletas de amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos de 141,3 cm<sup>3</sup> nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Determinou-se a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporos (Ma) e microporos (Mi), conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997). A Ds foi calculada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel, a Mi determinada em mesa de tensão de areia com sucção de 6 kPa, a Pt foi obtida pela relação entre a Ds e a densidade de partículas e a Ma por diferença entre Pt e Mi. A resistência do solo à penetração (Rp) foi medida após retirada dos anéis da mesa de tensão de areia quando se atingiu o equilíbrio de 10 kPa, equivalente a umidade na capacidade de campo. A medição da Rp foi realizada através do penetrômetro de bancada, do tipo estático (MA 933 MARCONI), com haste metálica formada por um cone de ângulo de 30° e 4 mm de diâmetro, a velocidade de 30 mm min<sup>-1</sup>. Na sequência, os anéis foram secos em estufa a 105°, por 48 horas, para determinação da densidade do solo, ao qual foi calculada pela razão da massa de solo pelo volume do anel. O grau de compactação do solo, expresso pela densidade relativa (DR) foi calculado pela relação entre a densidade do solo (Ds) e a densidade máxima de compactação (Dmáx), esta obtida por meio do ensaio de Proctor Normal, seguindo a norma NBR-7182 (ABNT, 1986), em aparelho Soiltest modelo CN- 4230.

Também foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada nos mesmos locais e camadas de coleta dos anéis volumétricos para determinação da estabilidade dos agregados pelo método da via úmida padrão (KEMPER & CHEPIL, 1965). Para isso, as amostras foram separadas dos agregados maiores em agregados menores, através do rompimento manual dos planos naturais de fraqueza do solo. Os agregados foram peneirados em conjunto de peneiras de 8 e 4,75 mm, nas quais foram mantidos submersos em água por 10 minutos e submetidos a oscilações verticais em um conjunto de peneiras com abertura de malha de 4,76; 2; 1 e 0,25 mm. O material retido em cada peneira foi seco e pesado separadamente para a determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP).

A campo foram realizados testes de infiltração de água no solo pelo método dos anéis concêntricos, para obtenção da taxa constante de infiltração de água no solo ( $\text{cm h}^{-1}$ ) e da lâmina total de água infiltrada (cm), conforme Forsythe (1975). Cada parcela recebeu um teste com duração de 90 minutos.

Figura 3 - Imagem dos anéis concêntricos durante teste realizado após a escarificação do solo.



Fonte: produção do próprio autor.

### 5.5.2 Produção vegetal

A coleta da massa de parte aérea das plantas invernais (aveia preta, trigo e nabo forrageiro) foi realizada no momento em que atingiram o pleno florescimento. A área de coleta foi delimitada por uma armação de 0,4 x 0,6 m, onde efetuou-se o corte rente ao solo de todo o material vegetal. Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar forçada a uma temperatura média de  $60^{\circ}\text{C}$  durante cinco dias, até atingir peso constante. Para quantificar a produção de grãos foram coletados seis metros lineares das três fileiras centrais de cada subparcela, no final do período de maturação dos grãos.

No cultivo de milho e feijão foram coletados seis metros lineares das fileiras centrais. Na cultura do milho as espigas retiradas foram separadas da parte aérea e debulhadas manualmente para determinação da produção de massa seca de parte aérea e do rendimento de grãos. Na cultura do feijão o material coletado foi seco em estufa e posteriormente trilhado

manualmente para separação dos grãos e da massa de parte aérea. As amostras foram acondicionadas em estufa com circulação forçada a uma temperatura média de 60°C durante cinco dias. A umidade dos grãos foi padronizada a 12%.

## **5.6 ANÁLISES DOS DADOS**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

#### 6.1.1 Após a escarificação do solo

##### 6.1.1.1 Densidade e porosidade total

A densidade do solo (Ds) variou entre 1,09 e 1,40 kg dm<sup>-3</sup> e foi influenciada pela escarificação na camada superficial do solo, sem diferença significativa entre os manejos nas demais camadas (Tabela 1). O tratamento semeadura direta submetida a uma única escarificação (SDE) resultou em redução de 11% no valor de Ds da camada de 0-5 cm, em comparação à semeadura direta (SD). Isto ocorreu porque a escarificação promoveu a perturbação do solo com pouca mobilização deste (MACHADO et al., 1996).

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Camada (cm)	Ds kg dm <sup>-3</sup>		Pt m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	SDE	SD	SDE	SD
0 - 5	1,09 B	1,22 A	0,57 A	0,50 B
5 - 10	1,32 A	1,29 A	0,48 A	0,47 A
10 - 20	1,19 A	1,28 A	0,53 A	0,48 A
20 - 30	1,40 A	1,37 A	0,45 A	0,45 A

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta.

Os valores de Ds pouco variaram nas diferentes camadas de solo no tratamento SD, enquanto que em SDE houve aumento nas camadas inferiores, constatando-se valor 28% superior na camada de 20-30 cm em comparação com a camada de 0-5 cm. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Araújo et al. (2004), os quais observaram alterações provocadas pela escarificação apenas na camada superficial do solo. Por outro lado, Vieira e Klein (2007), não constataram diferenças na Ds entre semeadura direta com e sem a descompactação do solo com escarificador.

Segundo Reichert et al. (2003), o valor crítico de Ds para solos franco argilosos é de 1,40 kg dm<sup>-3</sup>, portanto, nas camadas amostradas a Ds se manteve abaixo dos limites críticos

estabelecidos. No geral, maiores valores de  $D_s$  foram encontrados nas camadas inferiores, em parte explicados pelo menor teor de matéria orgânica (ALMEIDA et al., 2005).

A porosidade total do solo ( $P_t$ ) variou entre 0,45 e 0,57  $m^3 m^{-3}$ . Os volumes foram influenciados pelo preparo na camada de 0-5 cm, sendo que o tratamento SDE aumentou a  $P_t$  em 0,07  $m^3 m^{-3}$ , quando comparado à SD. Nas demais camadas não houve diferença entre tratamentos (Tabela 1), corroborando com resultados obtidos por Camara & Klein (2005).

Os valores de  $P_t$  diminuíram nas camadas inferiores, no entanto as maiores diferenças foram observadas no tratamento SDE, constatando-se na camada de 0-5 cm valor de  $P_t$  0,12  $m^3 m^{-3}$  superior a camada de 20-30 cm. Werner et al. (2015) observaram comportamento semelhante ao avaliar o efeito da escarificação sobre campo natural em um Nitossolo. De modo geral, os efeitos da escarificação sobre a  $P_t$  foram pertinentes na superfície do solo, visto o decréscimo no volume de poros nas camadas inferiores.

#### 6.1.1.2 Macroporosidade e microporosidade

Na camada de 0-5 cm a escarificação resultou em maior volume de macroporos (Ma), com valor de 0,21  $m^3 m^{-3}$ , diferindo significativamente da SD com 0,09  $m^3 m^{-3}$ . Nas demais camadas não houve efeito entre tratamentos (Tabela 2). O tratamento SDE teve maior variação dos valores de Ma, com redução de 81% na camada de 20-30 cm em comparação com a camada superficial. O maior valor de Ma no SDE deve-se a ação das hastes do escarificador, que resultaram no fraturamento dos agregados e no desenvolvimento de poros, notadamente os macroporos. Os resultados obtidos estão em conformidade com Tormena et al. (2002), os quais constataram aumento na macroporosidade com o revolvimento do solo.

Tabela 2 - Macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Camada (cm)	Microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ )		Macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ )	
	SDE	SD	SDE	SD
0 – 5	0,36 B	0,40 A	0,21 A	0,09 B
5 – 10	0,41 A	0,41 A	0,07 A	0,06 A
10 – 20	0,40 A	0,39 A	0,13 A	0,09 A
20 – 30	0,40 A	0,42 A	0,04 A	0,03 A

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta.

Considerando limite crítico de  $M_a$  igual a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , onde valores abaixo deste sugerem problemas de aeração às raízes das plantas (XU et al., 1992), observou-se limitação na SD em todas as camadas de solo. Este comportamento é atribuído ao mínimo revolvimento e ao tráfego de máquinas. Ao considerar o valor crítico de  $M_a$ , a SDE foi eficiente em contornar tal limitação nas camadas de 0-5 cm ( $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e de 10-20 cm ( $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), o que pode interferir no crescimento do sistema radicular das plantas e no fluxo de água ao longo do perfil do solo.

Os valores de  $M_i$  variaram entre  $0,36$  e  $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Na camada superficial a escarificação (SDE) proporcionou redução significativa de 4% do volume de  $M_i$  em relação à SD, sem efeito entre tratamentos nas demais camadas (Tabela 2). Na SD a variação no volume de microporos nas camadas inferiores foram menores ( $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) do que na SDE ( $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). De modo geral, foi possível observar que houve alteração mais acentuada na  $M_a$  do que na  $P_t$  e  $M_i$ . Este comportamento ocorreu devido ao fato de que parte do volume de  $M_i$  foi convertido em  $M_a$  pela ação do implemento durante o preparo mecânico do solo, concordando com Camara & Klein (2005) e Werner et al. (2015).

#### *6.1.1.3 Densidade relativa e resistência à penetração*

A densidade relativa do solo (DR) no início do experimento não foi influenciada significativamente pelos tratamentos SD e SDE (Tabela 3). No entanto, em valores absolutos, a SD apresentou DR 5% superior à SDE na camada de 0-5 cm, indicando maior compactação do solo na camada superficial, onde se concentra o maior volume do sistema radicular das plantas cultivadas. Em solo siltoso, Ferreras et al. (2001) observaram valores de DR na superfície do solo de 82 e 69% respectivamente para semeadura direta com e sem escarificação. A densidade máxima de compactação ( $D_{máx}$ ), obtida pelo ensaio de Proctor Normal e utilizada para o cálculo da DR, foi de  $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$  para a camada de 0-5 cm e de  $1,47 \text{ kg dm}^{-3}$  para as demais camadas (5-10, 10-20 e 20-30 cm).

Marcolin et al. (2006) avaliando solos sob semeadura direta com diferentes granulometrias, obtiveram DR média de 86%, com pequena variação nas demais camadas. Na presente pesquisa os valores de DR aumentaram em camadas tanto em SD quanto em SDE, indicando maior adensamento do solo principalmente na camada de 20-30 cm.

Tabela 3 - Densidade relativa (DR) e resistência do solo à penetração (RP), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Camada (cm)	DR (%)		RP MPa	
	SDE	SD	SDE	SD
0-5	80 <sup>ns</sup>	85 <sup>ns</sup>	0,52 B	0,99 A
5 - 10	88 <sup>ns</sup>	87 <sup>ns</sup>	0,94 A	0,93 A
10 - 20	85 <sup>ns</sup>	86 <sup>ns</sup>	1,03 A	0,82 A
20 - 30	95 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	1,50 A	1,26 A

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta.

A resistência do solo à penetração mecânica (RP), obtida com teor de umidade na capacidade de campo, foi afetada de forma significativa pelos tratamentos na camada de 0-5 cm (Tabela 3). Os valores de RP foram de 0,52 e 0,99 MPa respectivamente para SDE e SD, o que demonstra a eficiência da escarificação na redução da resistência mecânica do solo, concordando com Camara & Klein (2005). Em estudo realizado por Werner et al. (2015), os autores não observaram efeito da escarificação a partir da camada de 2,5 cm. Em ambos os tratamentos, verificou-se variação da RP em função das camadas de solo, com aumento nas camadas inferiores. No geral, os valores de RP ficaram abaixo de 2,0 MPa, sendo que acima deste há limitação severa para o desenvolvimento radicular das plantas cultivadas (LAL, 1999).

#### 6.1.1.4 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados, expressa pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), foi alterada significativamente pela escarificação na camada de 5-10 cm, reduzindo 0,4 mm o índice DMP na SDE, em relação à SD. Nas demais camadas o DMP não variou estatisticamente, embora tenha se observado tendência na redução deste índice em SDE (Tabela 4). De modo geral, os resultados sugerem que a mobilização causada em SDE pouco afetou a estabilidade estrutural do solo, ou seja, a escarificação pode ter proporcionado formação de fissuras com mínima interferência no solo (DRESCHER, 2015).

Tabela 4 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Camada (cm)	DMP (mm)	
	SDE	SD
0 - 5	5,6 A	5,7 A
5 - 10	5,2 B	5,6 A
10 - 20	5,1 A	5,3 A
20 - 30	5,1 A	5,1 A

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta.

No tratamento SD o índice DMP teve maior variação e decresceu nas camadas inferiores quando comparado ao tratamento SDE. Este comportamento é explicado pelo fato de que na SD o mínimo revolvimento manteve a estrutura original do solo na superfície, enquanto que na SDE a escarificação ocasionou a ruptura de agregados em frações menores. Com isso, verifica-se que uma única escarificação em semeadura direta não comprometeu a estabilidade dos agregados do Cambissolo Húmico estudado.

#### 6.1.1.5 Infiltração de água no solo

A taxa final de infiltração de água no solo, obtida por meio dos anéis concêntricos, foi respectivamente de 8,8 e 6,0 cm h<sup>-1</sup> para SDE e SD, representando aumento numérico de 47% proporcionando pela escarificação. Já a lâmina total de água infiltrada foi respectivamente de 22,4 e 14,3 cm para SDE e SD, o que representou valor 57% maior na SDE (Tabela 5). Embora as diferenças quantitativas sejam evidentes, não houve diferença estatística entre os manejos, em função da alta variabilidade observada a campo da infiltração de água no solo.

Girardello et al. (2011) testaram diferentes escarificadores e obtiveram aumento na infiltração de água no solo quatro vezes superior em relação a área não escarificada, porém constataram que este efeito foi efêmero, permanecendo por sete meses após o preparo. O incremento na infiltração de água está associado à mobilização causada pelo escarificador, que ocasionou alterações na estrutura do solo, como menor densidade, aumento do espaço poroso, principalmente da macroporosidade na superfície do solo, conforme constatado nesta pesquisa.



Tabela 1 - Taxa final de infiltração de água no solo (VIB) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), no período inicial do experimento, nos diferentes tratamentos.

Manejo			
SDE	SD	SDE	SD
VIB cm/h		I acumulada cm	
8,8 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	22,4 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta.

## 6.1.2 Ao final dos cultivos em sucessão

### 6.1.2.1 Densidade e porosidade total

Ao final dos cultivos a  $D_s$  variou entre 1,05 e 1,46 kg dm<sup>-3</sup>, constatando-se apenas na camada de 0-5 cm influência estatística da escarificação (Tabela 6). Este resultado demonstra que após doze meses da mobilização de solo no tratamento SDE, a  $D_s$  foi 16,5% inferior à SD. Resultados similares foram obtidos por Tormena et al. (2002) e Araújo et al. (2004), indicando que a persistência dos efeitos da escarificação estão provavelmente associados à maior estabilidade estrutural do solo na camada superficial, a qual se deve ao efeito do desenvolvimento radicular. Em estudo realizado por Machado et al. (1996), os autores observaram persistência da escarificação sobre a  $D_s$  após um cultivo de inverno em um Planossolo solódico, de densidade naturalmente elevada.

Na camada de 0-5 cm as sucessões nabo/feijão, trigo/feijão e nabo/milho em SDE, apresentaram menores valores de  $D_s$  em comparação às mesmas sucessões em SD. Nas camadas inferiores não houve interação entre os manejos e sucessões. Independentemente do manejo do solo, a  $D_s$  foi menor na camada de 0-5 cm, o que pode ser atribuído à maior presença de material orgânico na superfície do solo. Já na camada de 5-10 cm em SD, o valor observado superou o limite crítico para solos franco argilosos (1,40 kg dm<sup>-3</sup>), indicando possível compactação subsuperficial pelo tráfego de máquinas e mínimo revolvimento. Já na SDE, na camada 20-30 cm o valor de  $D_s$  foi igualado ao valor crítico, indicando possível compactação pela base da haste do escarificador, e associada a reconsolidação do solo, justificam este valor de  $D_s$ .

Tabela 2 - Densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	Ds kg dm <sup>-3</sup>		Pt m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	0-5 cm			
A/F	1,12 aA	1,27 aA	0,56 aA	0,49 aA
A/M	1,10 aA	1,24 aA	0,57 aA	0,50 aA
T/F	1,06 aB	1,29 aA	0,58 aA	0,49 aB
T/M	1,15 aA	1,23 aA	0,54 aA	0,51 aA
N/F	1,05 aB	1,35 aA	0,58 aA	0,46 aB
N/M	1,07 aB	1,26 aA	0,57 aA	0,48 aB
Média	1,09 B	1,27 A	0,56 A	0,49 B
CV (%)	13,1/10,4/ 6,9		10,5/10,0/7,3	
	5-10 cm			
A/F	1,45 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
A/M	1,40 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
T/F	1,36 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
T/M	1,39 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
N/F	1,36 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
N/M	1,38 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
Média	1,39 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,7/7,2/4,8		11,8/11,4/7,8	
	10-20 cm			
A/F	1,37 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
A/M	1,39 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
T/F	1,39 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
T/M	1,37 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
N/F	1,42 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
N/M	1,32 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Média	1,38	1,35	0,45	0,46
CV (%)	6,3/6,6/4,8		12,4/11,5/5,2	
	20-30 cm			
A/F	1,42 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	0,43 aA	0,47 aA
A/M	1,41 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,44 aA	0,48 aA

T/F	1,35 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	0,46 aA	0,47 aA
T/M	1,38 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	0,45 aA	0,46 aA
N/F	1,47 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,40 aB	0,47 aA
N/M	1,39 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,44 aA	0,49 aA
Média	1,40 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	0,44 B	0,47 A
CV (%)	4,1/4,1/5,5		4,8/6,1/7,8	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela, subparcela e sub-subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%.

A Pt variou entre 0,40 e 0,58 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, com efeito significativo entre tratamentos nas camadas de 0-5 e 20-30 cm (Tabela 6). Em superfície, o manejo SDE foi superior à SD, seguindo o mesmo comportamento da Ds, sendo maiores nas sucessões nabo/feijão, trigo/feijão e nabo/milho em comparação as mesmas sucessões em SD. Na camada de 20-30 cm o manejo SDE resultou em menor Pt do que na SD, após doze meses de mobilização do solo.

#### 6.1.2.2 Macroporosidade e microporosidade

Quanto aos valores de Ma do solo, houve diferença estatística entre tratamentos nas camadas de 0-5 e 10-20 cm (Tabela 7). A mobilização do solo, através da escarificação, manteve, após doze meses do preparo, volume de Ma 90% superior na SDE em relação à SD na camada de 0-5 cm. Com relação às sucessões vegetais, a escarificação afetou positivamente os Ma nas sequências trigo/feijão e nabo/feijão para esta mesma camada. Provavelmente, as raízes das plantas que se desenvolveram durante o período de condução do experimento no manejo evitaram a reconsolidação do solo e impediu o seu retorno ao estado inicial de compactação em superfície (Nicoloso et al., 2008). Nestas sucessões houve redução expressiva dos valores de Ma ao final dos cultivos em SD. Isso pode ter ocorrido em função do baixo desenvolvimento radicular característico da cultura do feijão, associada à elevada Ds nesta camada.

Considerando o valor crítico de Ma de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, a utilização da cultura do milho foi capaz de aumentar a Ma acima do limitante nos tratamentos sob SD, em comparação ao início do experimento, com maior destaque para a sucessão nabo/milho. Este resultado pode ser atribuído ao efeito combinado das raízes utilizadas nesta sucessão, já que o nabo forrageiro possui raiz pivotante e bem desenvolvida, com capacidade de crescer em camadas

compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002), enquanto que o milho, embora não possua raízes muito desenvolvidas, possui sistema radicular abundante (LOS, 1995).

Ao observar o valor limitante de Ma, este tipo de solo tem restrições ao desenvolvimento radicular, devido aos baixos valores observados nas demais camadas inferiores, independe do manejo e das culturas.

As sequências vegetais de trigo/feijão e nabo/milho aumentaram o volume de Ma na camada de 10-20 cm na SDE, em relação à SD. Para esta camada, a sucessão nabo/milho resultou nos maiores valores absolutos de Ma, independentemente do manejo do solo, sendo superior ao limitante para as culturas ( $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) na SD.

Tabela 3 - Macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	Ma $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		Mi $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	
0-5 cm				
A/F	0,18 aA	0,09 aA	0,38 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
A/M	0,19 aA	0,10 aA	0,38 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
T/F	0,22 aA	0,08 aB	0,35 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
T/M	0,15 aA	0,12 aA	0,39 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
N/F	0,21 aA	0,07 aB	0,36 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
N/M	0,20 aA	0,15 aA	0,37 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
Média	0,19 A	0,10 B	0,37 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
CV (%)	59,0/48,0/32,1		10,3/9,0/8,9	
5-10 cm				
A/F	0,04 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
A/M	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
T/F	0,06 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
T/M	0,03 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
N/F	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
N/M	0,07 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
Média	0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>

CV (%)	89,3/68,0/83,4		7,3/11,1/10,4	
10-20 cm				
A/F	0,04 aA	0,02 bA	0,41 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
A/M	0,02 aA	0,05abA	0,40 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
T/F	0,04 aB	0,10abA	0,41 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
T/M	0,03 aA	0,05abA	0,43 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
N/F	0,05 aA	0,05abA	0,39 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
N/M	0,09 aA	0,12 aA	0,39 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
Média	0,05 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,0/58,2/80,9		14,0/9,9/11,2	
20-30 cm				
A/F	0,01 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
A/M	0,04 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
T/F	0,05 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
T/M	0,03 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
N/F	0,03 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
N/M	0,04 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
Média	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
CV (%)	52,8/54,5/87,0		8,4/5,0/6,4	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela, subparcela e sub-subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%

Os valores de Mi variaram entre 0,35 e 0,45 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e não apresentaram diferença significativa doze meses após a escarificação e a implantação das sucessões vegetais (Tabela 7). Assim, para que modificações expressivas neste atributo se manifestem, é provável que seja necessário período mais longo de tempo, para que as espécies vegetais expressem seus benefícios (BERTOL et al., 2004).

### 6.1.2.3 Densidade relativa e resistência à penetração

Os valores de DR foram afetados pelo manejo do solo após doze meses, sendo que a escarificação reduziu a DR na camada de 0-5 cm, porém aumentou na camada de 20-30 cm, em comparação à SD (Tabela 8).

Tabela 4 - Densidade relativa (DR) e resistência do solo à penetração (RP), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	DR		RP	
	%		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
0-5 cm				
A/F	81 aA	92 aA	0,91 cB	1,25 cA
A/M	80 aA	90 aA	1,08 aB	1,15 dA
T/F	77 aB	93 aA	0,65 fB	1,76 bA
T/M	84 aA	89 aA	0,99 bB	1,12 eA
N/F	76 aB	98 aA	0,79 dB	1,86 aA
N/M	78 aB	91 aA	0,71 eB	1,15 dA
Média	79 B	92 A	0,66 B	1,88 A
CV (%)	13,1/10,4/6,9		0,7/1,2/0,9	
5-10 cm				
A/F	98 <sup>ns</sup>	97 <sup>ns</sup>	2,14 aA	1,89 cB
A/M	95 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	1,42 cB	1,75 dA
T/F	93 <sup>ns</sup>	95 <sup>ns</sup>	1,17 eB	1,16 fA
T/M	95 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	1,83 bB	2,08 aA
N/F	92 <sup>ns</sup>	99 <sup>ns</sup>	1,26 dB	1,94 bA
N/M	94 <sup>ns</sup>	97 <sup>ns</sup>	0,71 fB	1,53 eA
Média	95 <sup>ns</sup>	97 <sup>ns</sup>	1,42 B	1,73 A
CV (%)	4,7/7,2/7,0		0,7/0,4/0,6	
10-20 cm				
A/F	93 <sup>ns</sup>	96 <sup>ns</sup>	1,35abA	1,40 aA
A/M	95 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	1,37abA	1,34 abA
T/F	94 <sup>ns</sup>	91 <sup>ns</sup>	1,37abA	1,30 bcB
T/M	93 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	1,35abA	1,34 abA
N/F	96 <sup>ns</sup>	92 <sup>ns</sup>	1,43 aA	1,31 abcB
N/M	90 <sup>ns</sup>	85 <sup>ns</sup>	1,29 bA	1,23 bA
Média	94 <sup>ns</sup>	92 <sup>ns</sup>	1,36 A	1,32 B
CV (%)	6,3/6,6/4,8		1,6/3,3/2,4	
20-30 cm				
A/F	97 aA	91 aA	1,67abA	1,49 aB
A/M	96 aA	89 aB	1,78 aA	1,28 bB
T/F	92 aA	91 aA	1,66abA	1,20 bB

T/M	94 aA	93 aA	1,35 cA	1,16 bB
N/F	100 aA	92 aB	1,63 bA	1,52 aB
N/M	95 aA	88 aB	1,42 cA	1,17 bB
Média	96 A	91 B	1,59 A	1,30 B
CV (%)	3,8/4,0/5,6		4,1/3,8/3,7	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela, subparcela e sub-subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%

De acordo com Reinert et al. (2008), valores de DR entre 80 e 90% não são considerados restritivos ao crescimento das plantas. Valores a partir de 90% causam restrições no desenvolvimento das raízes e acima de 95% o nível de compactação é considerado elevado, ocorrendo deformação do sistema radicular. Já Lindstron e Voorhees (1994) obtiveram valor de DR acima de 86% como limitante ao desenvolvimento das plantas. Na presente pesquisa, os valores oscilaram entre 76% e 100%. Na camada mais superficial do solo (0-5 cm), o valor médio obtido no manejo SDE (79%) foi inferior ao considerado crítico, o que não ocorreu no manejo sob SD, com DR de 92%.

Por outro lado, Beutler et al. (2005) destacam que valores de DR abaixo de 80% podem ser prejudiciais ao crescimento das plantas, pelo excesso de porosidade de aeração e menor volume de água disponível. Valores abaixo deste foram observados nas sucessões trigo/feijão e, nabo/feijão sob SDE, na camada de 0-5 cm, o que pode ter influenciado no rendimento das culturas.

Os elevados valores de DR obtidos nas camadas subsuperficiais possivelmente estão associados a outros atributos físicos sensíveis ao manejo do solo, como a baixa macroporosidade e a elevada densidade do solo.

As diferenças nos valores de RP entre os manejos indicam a persistência dos efeitos da escarificação na camada superficial do solo após doze meses da mobilização (Tabela 8), provavelmente associados ao crescimento radicular das plantas.

De maneira geral, a RP foi menor em SDE nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e o inverso ocorreu nas demais, ou seja, maior RP na SDE nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, o que pode estar associado ao efeito positivo das hastes do escarificador nas camadas superiores, porém compactando nas inferiores. Araújo et al. (2004) obtiveram o mesmo comportamento nas mesmas camadas amostradas.

A sucessão nabo/milho resultou nos menores valores de RP, sugerindo que esta sucessão é mais eficaz em reduzir a resistência do solo ao desenvolvimento radicular. No

entanto, foi possível observar que os valores de RP ficaram abaixo do considerado crítico pela literatura de 2,0 MPa (LAL, 1999), com exceção da sucessão trigo/milho na camada de 5-10 cm, com valor de RP de 2,08 Mpa, ligeiramente superior ao limitante.

Em relação ao preparo inicial, no geral os valores de RP aumentaram 26 e 56% respectivamente, para SDE e SD. Mesmo assim, o tratamento escarificado se manteve com menor resistência mecânica ao desenvolvimento radicular em relação à semeadura direta.

#### 6.1.2.4 Estabilidade de agregados

Após doze meses do início do experimento constatou-se que os valores de DMP foram em geral, elevados, e pouco influenciados pela escarificação do solo, com exceção da camada de 5-10 cm (Tabela 9). Isso indica que uma única escarificação em semeadura direta não prejudicou a estabilidade estrutural do Cambissolo Húmico. Werner et al. (2015), analisando diferentes tipos de uso do solo, não observou diferenças no índice de estabilidade de agregados, atribuindo este comportamento às condições naturais do solo, como altos teores de argila e matéria orgânica.

Tabela 5 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	SDE	SD
	DMP mm	
0-5 cm		
A/F	5,5 aA	5,4 abA
A/M	5,4 aA	5,7 aA
T/F	5,6 aA	5,4 abA
T/M	5,4 aA	5,6 abA
N/F	5,5 aA	5,3 bA
N/M	5,2 aA	5,3 abA
Média	5,4 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,4/2,3/3,1	
5-10 cm		
A/F	5,7 aA	5,3 aB



A/M	5,3 bcB	5,5 aA
T/F	5,6 abA	5,5 aA
T/M	5,2 cA	5,5 aA
N/F	5,7 abA	5,5 aA
N/M	5,5 abcA	5,5 aA
Média	5,5 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>
CV (%)	1,6/3,0/2,6	
10-20 cm		
A/F	5,4 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>
A/M	5,5 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
T/F	5,6 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>
T/M	5,6 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>
N/F	5,7 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
N/M	5,5 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>
Média	5,5 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
CV (%)	1,8/2,7/3,8	
20-30 cm		
A/F	5,0 <sup>ns</sup>	4,9 <sup>ns</sup>
A/M	5,0 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
T/F	4,7 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>
T/M	5,3 <sup>ns</sup>	4,9 <sup>ns</sup>
N/F	5,5 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>ns</sup>
N/M	5,0 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>ns</sup>
Média	5,09 <sup>ns</sup>	5,07 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,2/7,7/7,3	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela, subparcela e sub-subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%.

A sucessão aveia/milho ocasionou maior DMP na SD em superfície (0-5 cm), sendo estatisticamente superior a sequência nabo/feijão, provavelmente pela combinação de alta produção de biomassa vegetal das culturas de aveia e milho. Segundo Mielniczuk (1999), a maior densidade de raízes das monocotiledôneas em relação às dicotiledôneas e a distribuição mais uniforme do sistema radicular favorecem a distribuição dos exsudados no solo,

auxiliando na agregação do solo. Silva & Mielniczuk (1997) afirmam que as gramíneas podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo para a formação e estabilidade dos agregados.

#### *6.1.2.5 Infiltração de água no solo*

Os efeitos de uma única escarificação sobre a infiltração de água no solo persistiram pelo período de doze meses. A taxa final de infiltração de água foi respectivamente de 11,3 e 8,1 cm h<sup>-1</sup>, em SDE e SD, na média dos cultivos, representando uma diferença numérica de 39,5% entre os manejos (Tabela 10). Em comparação ao início do experimento, os tratamentos SDE e SD aumentaram em 28,4 e 35% a taxa final de infiltração. Vieira e Klein (2007) avaliando o efeito de uma escarificação em semeadura direta, em um Latossolo Vermelho, concluíram que a mesma teve efeito sobre a infiltração de água por período de 24 meses. Valores superiores de infiltração final também foram observados por Camara & Klein (2005) em semeadura direta escarificada.

Entre as culturas de inverno, a aveia teve taxa final de infiltração de água 26% superior ao nabo e trigo, na média dos manejos SDE e SD, enquanto que nos cultivos de verão, o milho foi 16% superior ao feijão, na média dos manejos. Assim como o milho, citado anteriormente, a aveia por ter elevada produção de fitomassa protege o solo, e devido ao seu denso e fasciculado sistema radicular, promove a formação de agregados, melhorando a estrutura do solo, tornando-o mais poroso e arejado. Com isso, aumenta-se a infiltração de água no perfil do solo (HERNANI et al., 1995). Embora as diferenças quantitativas tenham ocorrido, não houve diferença significativa entre as espécies vegetais, em função da alta variabilidade observada a campo.

A lâmina total de água infiltrada seguiu o mesmo comportamento da taxa final de infiltração. A SDE resultou em infiltração acumulada 38% superior à SD, na média dos cultivos (Tabela 10). Para esta variável, os cultivos de aveia e milho foram 23 e 13% superiores aos demais cultivos de inverno (nabo e trigo) e de verão (feijão), respectivamente.

Tabela 10 - Taxa final de infiltração de água no solo (VIB) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	VIB cm/h		I acumulada	
A/F	11,5 aA	8,30 aA	24,7 aA	17,0 aA
A/M	11,9 aA	13,4 aA	26,0 aA	26,2 aA
T/F	8,40 aA	7,90 aA	18,9 aA	17,2 aA
T/M	14,5 aA	5,20 aB	30,0 aA	10,8 aB
N/F	13,1 aA	4,80 aB	26,0 aA	11,9 aA
N/M	8,50 aA	8,60 aA	17,1 aA	20,3 aA
Média	11,3 A	8,1 B	23,8 A	17,2 B
CV	28,6/52,6/43,9		35,8/53,9/40,9	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela, subparcela e sub-subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.2 PRODUÇÃO VEGETAL

### 6.2.1 Rendimento de grãos e massa seca de parte aérea das culturas de inverno

O rendimento de grãos (RG) das culturas de inverno não foi influenciado de forma significativa pela escarificação do solo (Tabela 11). Em valores relativos, os cultivos de aveia, trigo e nabo forrageiro apresentaram rendimentos respectivamente 9,7; 13,3 e 37,5% superiores na SD em relação à SDE. Os resultados evidenciam o potencial do manejo SD como favorável às culturas de inverno, sem necessidade de intervenções mecânicas.

Em estudo conduzido por Moraes (2013), em um Latossolo Vermelho muito argiloso, a escarificação do solo foi desnecessária, aumentando os custos de produção sem incrementos na produtividade de grãos do trigo. Por outro lado, Secco et al. (2009) e Klein et al. (2008) apresentaram dados com comportamento oposto ao desse trabalho, em que a escarificação aumentou o RG de trigo em semeadura direta, em um Latossolo Vermelho argiloso.

Tabela 11 - Rendimento de grãos e produção de massa seca da parte aérea das culturas de inverno nos diferentes tratamentos.

Cultura	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )		Massa seca de parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	
Aveia	0,62 aA	0,68 aA	9,41 aA	7,96 aA
Trigo	0,60 aA	0,68 aA	5,51 bA	6,71 abA
Nabo	0,08 bA	0,11 bA	3,56 bA	4,23 bA
CV (%)	20,0/36,9		37,5/22,1	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela e subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Como observado para RG, a produção de massa seca de parte aérea (MS) das culturas de inverno não foi influenciada significativamente pela escarificação do solo (Tabela 11). Considerando os valores relativos, o cultivo de aveia teve produção 18,2% superior no manejo SDE, enquanto trigo e nabo tiveram produção 21,8 e 18,8% superior em SD. Dentre as diferentes espécies, a aveia preta produziu maior quantidade de MS (Tabela 11), sendo respectivamente 43 e 230% superior ao trigo e ao nabo forrageiro, na média dos manejos.

No cultivo sob SDE a aveia foi estatisticamente superior às demais culturas em produção de MS, enquanto em SD a aveia foi superior ao nabo forrageiro. A aveia se destaca entre as culturas de inverno que produzem grandes quantidades de MS (EPAGRI, 2000). Derpsch et al. (1985), obtiveram na aveia preta como a cobertura verde de inverno que produziu maiores quantidades de matéria seca (8,67 Mg ha<sup>-1</sup>), concordando com os resultados obtidos neste experimento. Debiasi et al. (2008), obtiveram respostas negativas no rendimento de MS para aveia e nabo nos manejos com escarificação sob semeadura direta.

### 6.2.2 Rendimento de grãos e massa seca de parte aérea das culturas de verão

Os resultados apresentados (Tabela 12) mostram que o RG de milho não foi influenciado pelo manejo do solo e pelas culturas antecedentes, o qual variou entre 9,30 e 11,79 Mg ha<sup>-1</sup>. A ausência do efeito da escarificação em semeadura direta sobre o rendimento de milho também foi constatado por Mahl et al. (2008). Por outro lado, Secco et al. (2009), em trabalho conduzido sob dois Latossolos, concluíram que a escarificação não aumentou o rendimento da cultura da soja, porém aumentou o rendimento do milho.

Tabela 12 - Rendimento de grãos de milho e feijão nos diferentes tratamentos.

Cultura anterior	Feijão		Milho	
	SDE	SD	SDE	SD
	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )			
Aveia	1,94 aA	1,94 aA	10,68 <sup>ns</sup>	9,51 <sup>ns</sup>
Trigo	1,08 bA	1,42 abA	10,94 <sup>ns</sup>	9,81 <sup>ns</sup>
Nabo	1,05 bA	1,02 bA	9,30 <sup>ns</sup>	11,79 <sup>ns</sup>
CV (%)	14,6/16,2		8,3/15,6	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela e subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%.

O RG de feijão variou entre 1,02 e 1,94 Mg ha<sup>-1</sup>, não foi influenciado pela escarificação do solo mas respondeu de forma positiva ao cultivo de aveia preta na SDE e de aveia preta e trigo na SD (Tabela 12). Este resultado está de acordo com os registros de literatura (Derpsch et al., 1985; Ferro, 1991), de que leguminosas em sucessão a não leguminosas são favorecidas, pois elas não dependem da mineralização do nitrogênio da não leguminosa. Derpsch et al. (1985), obteve os maiores rendimentos de feijão após aveia preta e nabo forrageiro. Neste experimento, o rendimento após nabo forrageiro teve redução expressiva, correspondendo a 53% do obtido após aveia, na média dos manejos.

Lima et al. (2006), em Argissolo arênico, constataram que a escarificação em semeadura direta foi favorável ao RG de feijão. Collares et al. (2006), em pesquisa conduzida sobre Argissolo arenoso, verificaram que embora a escarificação tenha favorecido o desenvolvimento radicular do feijão, a produtividade foi 12% inferior à semeadura direta contínua. Já Collares et al. (2008), em Latossolo argiloso, não constataram efeito sobre a produtividade do feijão, nem do trigo, em solo escarificado quando comparado a semeadura direta contínua.

A produção de MS das culturas de verão variou em função do manejo do solo e da espécie vegetal anterior (Tabela 13). No cultivo do milho, a MS foi 27 e 29% superior na SDE em comparação à SD, após aveia e trigo, respectivamente. Porém, após o nabo forrageiro, a MS de milho foi 60% superior na SD em relação à SDE. Dentro de cada manejo, a cultura anterior não influenciou a MS na SDE, enquanto que na SD o cultivo do nabo forrageiro resultou em produção de MS de milho 66 e 80% superior à aveia preta e ao trigo, respectivamente.

Tabela 13 - Massa seca de parte aérea de milho e feijão nos diferentes tratamentos.

Cultura antecedente	Feijão		Milho	
	SDE	SD	SDE	SD
	<sup>1</sup> Massa seca de parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )			
Aveia	2,69 aA	2,54 aA	7,01 aA	5,51 bB
Trigo	1,77 bB	2,31 abA	6,59 aA	5,09 bB
Nabo	1,68 bA	1,78 bA	5,59 aB	9,17 aA
CV (%)	6,1/14,6		4,5/13,3	

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta. CV: coeficiente de variação respectivamente para parcela e subparcela. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Aita et al. (2001) e Heinrichs et al. (2001) observaram que, quando a aveia preta antecedeu a cultura do milho, houve redução na produtividade de grãos, em relação ao cultivo do milho após pousio, fato atribuído à diminuição na disponibilidade de N no solo, pela imobilização microbiana. Em SD observou-se este comportamento, porém no manejo SDE ocorreu o inverso. Por este motivo, Silva et al. (2007) mencionam que o consórcio de aveia preta com leguminosas e com brássicas, como, por exemplo, o nabo forrageiro, visam aumentar a disponibilidade de N no sistema e o tempo de permanência de resíduos na superfície do solo.

De maneira geral a cultura do milho proporcionou acúmulo suficiente de matéria seca, pois, conforme Alvarenga et al. (2001), 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> na superfície é considerada quantidade suficiente para se obter boa cobertura do solo.

A MS do feijão seguiu o mesmo comportamento do RG, não sendo influenciada pela escarificação, com exceção após o trigo, onde a SDE resultou em menor produção em comparação à SD. Considerando as culturas antecedentes, o cultivo de feijão após aveia preta resultou em valores mais elevados de MS.

## 7 CONCLUSÕES

Uma única escarificação em solo manejado sob semeadura direta afeta positivamente as propriedades físicas do solo logo após o preparo, com efeito restrito à camada superficial de 0-5 cm; a mobilização reduz a densidade do solo e à resistência à penetração e aumenta a porosidade total e a macroporosidade, e pouco afeta a estabilidade de agregados.

Os efeitos da escarificação do solo Cambissolo Húmico persistem por período de um ano para densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e resistência do solo à penetração, e resulta em maior infiltração de água no solo; as espécies vegetais pouco influenciam os atributos do solo, no entanto, o cultivo de milho aumenta a macroporosidade acima do valor crítico de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na semeadura direta, na camada de 0-5 cm, em comparação ao início do experimento.

O rendimento de grãos e a massa seca de parte aérea das culturas de inverno (aveia preta, trigo e nabo forrageiro) não foi influenciada pela escarificação do solo. Os cultivos de verão (milho e feijão) seguem o mesmo comportamento para rendimento de grãos, porém o feijão responde de forma positiva após o cultivo de aveia preta na semeadura direta escarificada e de aveia e trigo na semeadura direta.

A cultura do milho produz maiores quantidades de massa seca de parte aérea em sucessão aos cultivos de aveia preta e trigo na semeadura direta escarificada e ao cultivo de nabo forrageiro na semeadura direta. A produção de massa seca de feijão é menor em sucessão ao nabo forrageiro.

## 8 REFERÊNCIAS

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 157-165, 2001.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária as propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 717-723, 2001.

ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 437-445, 2005.

ALVARENGA, R.C.; W. A. L. CABEZAS, J. C.; CRUZ & D. P. Santana. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, 22: 25-36, 2001.

ANDRADE, A.P. **Atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico sob dois sistemas de manejo após doze anos de cultivo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, (Dissertação de Mestrado), 68p, 2009.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T.; COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 495-504, 2004.

BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; WERNER, R.S.; RAMOS, J.C.; RAMOS, R.R. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 1279-1290, 2012.

BARBOSA, F.; GONZAGA, A. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira. **Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, Brasil, 2012.

BARROS, J.F.C.; CALADO, J.G. A cultura do milho - Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuários, Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral, Universidade de Évora, Évora - Portugal, 2014.

BAYER, C; MIELNICZUK, J; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, 28: 23-28, 1998.

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



BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, 58:555-560, 2001.

BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 843-849, 2005.

BROWN, V. **Atributos do Solo e desempenho de culturas nos sistemas de manejo convencional e semeadura direta**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, (Dissertação de Mestrado), 63p, 2015.

BUSARI, M. A.; KUKAL, S. S.; KAUR, A.; BHATT, R.; DULAZI, A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**, 3: 119-129, 2015.

CALEGARI, A. Aspectos gerais da adubação verde. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro, 1-55p,1993.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. V. 80, 2004.

CALEGARI, A. Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, 80: 62-70, 2004.

CAMARA, R. K. **Influência da escarificação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades do solo e na cultura da soja**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, (Dissertação de Mestrado), 85p, 2004.

CAMARA, R.K; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 789-796, 2005.

CARVALHO, I.Q.; SILVA, M. J. S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; POSSAMAI, J.C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, 8: 179-184, 2007.

COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. de. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, 33: 361-368, 2009.

COLLARES, G. L.; COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 1663-1674, 2006.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 933-942, 2008.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA: Indicações técnicas para a cultura da aveia. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014, p. 13-23.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2004. 400 p.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira. 2.ed. **Anais...**Florianópolis: Epagri, 2012.

CORREA, I. M.C.; BERTOL, I.; RAMOS, J.C.; TAKIZAWA, M.M. Rugosidade da superfície de um Cambissolo Húmico relacionada com o preparo e compactação do solo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 567-576, 2012.

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, M. J. Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002. **Anais...**Cuiabá, 2002.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo distrófico)**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Dissertação de Mestrado), 138p, 1981.

DA SILVA AGUIAR, H. E. et al.; LIMA, V. M. M.; MORAES, A. F. C.; MASCARENHAS, L. A. Eficiência de herbicidas inibidores de ACCasa no controle de milho Roundup Ready (RR) e seus efeitos na cultura da soja. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, 2015.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. **Embrapa Soja**, Londrina 20 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 63). 2008.

DEBIASI, H. ; LEIVEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: 1977. Brasília. Vol. 45, n. 6 (jun. 2010), p. 603-612, 2010.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. de; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 703-709, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20: 761-773, 1985.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1713-1722, 2011.

DRESCHER, M.S. **Estratégias para descompactação do solo por escarificação e hastes sulcadoras em sistema plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, (Tese de Doutorado), 119p, 2015.

DIAS JUNIOR, M.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 175-182, 1996.

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**, 36: 1714-1723, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EPAGRI. Sistema de produção para cebola: Santa Catarina. Florianópolis. **Sistemas de Produção**, v. 16, 2000. 91p.

FERRO, M. Efeito residual de diferentes espécies de adubos verdes de inverno sobre o rendimento de soja e milho. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 3., Cascavel, 1991. Resumos. Cascavel, **Anais... OCEPAR**, 1991. p.126.

FLORES, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, 38: 2164- 2172, 2008.

FORSYTHE, W. **Física de solos**; manual de laboratório. New York: University Press, 1975.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER A. P.; MARQUES, M. S.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II-Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 751-762, 2004.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 2115-2126, 2011.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. Adubos verdes de outono/ inverno no Mato Grosso do Sul. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Embrapa. **Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste**, Dourados, 1995.

JUNIOR, R. C.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. Plantio direto no sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento de mecanização

conservacionista. Londrina, PR: Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação, **Instituto Agrônomo do Paraná**, 77p. 2012.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregation**. In: BLACK, C.A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society Agronomy, 1965. p.499-510.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3.ed. Passo Fundo: EDIUPF. 2014. 263p

KLEIN, C. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo vermelho em plantio direto escarificado sobre o rendimento de grãos de milho**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, (Tese de Doutorado), 119p, 2011.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo: **EMBRAPA-CNPT**, 36 p. 2000.

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

KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37: 1699-1708, 2013.

LAL, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos; tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**. (Embrapa Meio Ambiente – Documentos, 03). 97p, 1999.

LANZANOVA, M. E. **Sistemas de cultura em plantio direto adaptados à pequena propriedade relacionados com a erosão e atributos de um Argissolo Vermelho**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, (Tese de Doutorado), 24p, 2009.

LOS, C. J. Princípios básicos para iniciar o plantio direto. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. Castro. **Anais...** Castro: ABC, 1995. p.291-301.

MACHADO, R.L.T.; TURATTI, A.L.; MACHADO, A.L.T.; ALONÇO, A.S. & REIS, A.V. Estudos de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira Agrocência**, 2: 175-178, 1996.

MAHL, D.; DA SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**. 30:741-747, 2008.

MONTANARI, R.; MONTANARI, R.; CARVALHO, M. D. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. D. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1811-1822.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do autor.1991. 337p.

MORAES, M.T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de**

**escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, (Dissertação de Mestrado), 205p, 2013.

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: 1735-1742, 2008.

PITOL, C.; SALTON, J.C. Nabo forrageiro: opção para cobertura de solo. **Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias**, 1993. 4p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27: 29-48, 2003.

REICHERT, J. M ; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5:49-134, 2007.

REINERT, D.J; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M; AITA, C.; ANDRADA, M. M.C. Limites críticos de densidades do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1805-1816, 2008.

SANTOS, P. A.; DA SILVA, A. F.; DE CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista brasileira de milho e sorgo**, 9: 123-134, 2010.

SCHEEREN, P. L. Informações sobre o trigo (*Triticum* spp.). Passo Fundo, RS:EMBRAPA-CNPT, (Série Documentos, 2), 34 p. 1986.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P; GONZÁLEZ, A.P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38: 1890-1905, 2014.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 407- 414, 2005.

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

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21: 313-319, 1997.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 239-249, 2000.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, 35: 544-552, 2005.

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**, 37: 928-935, 2007.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6: 207-212, 2002.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 301-309, 1998.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, Porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, 59: 795-801, 2002.

VIEIRA, M.L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo.** (Dissertação de Mestrado), 104p, 2006.

VIEIRA, M.L. & KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1271- 1280, 2007.

WERNER, R.S.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WOLSHICK, N. H.; SANTOS, K. F. D.; MOTA, J. M. Soil Properties and Plant Biomass Production in Natural Rangeland Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40: 1-10, 2016.

WOLSCHICK, N.H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, (Dissertação de Mestrado), 93p, 2015.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; DOS SANTOS, K. F., DE SOUZA WERNER, R.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 15: 34-143, 2016.

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