

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Silvana Spaniol Fin**

**MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO  
PARA O CULTIVO DA SOJA EM ÁREA DE ARROZ IRRIGADO**

**Santa Maria, RS  
2017**

**Silvana Spaniol Fin**

**MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO PARA O CULTIVO DA SOJA  
EM ÁREA DE ARROZ IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Spaniol Fin, Silvana

Manejo do solo e plantas de cobertura de inverno para o cultivo da soja em área de arroz irrigado / Silvana Spaniol Fin.- 2017.

62 p.; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan

Coorientador: Alberto Cargnelutti Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2017

1. Glycine Max 2. Escarificação 3. Camalhão 4. Rotação de culturas 5. Compactação I. Marchesan, Enio II. Cargnelutti Filho, Alberto III. Título.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Silvana Spaniol Fin. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: silvana\_fin@hotmail.com

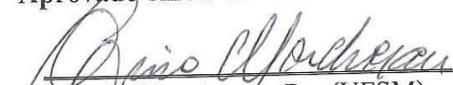
---

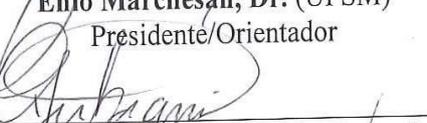
Silvana Spaniol Fin

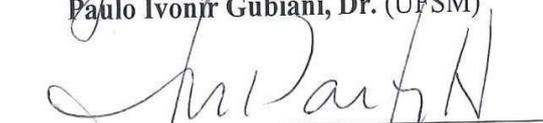
**MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO PARA O  
CULTIVO DA SOJA EM ÁREA DE ARROZ IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2017:

  
Enio Marchesan, Dr. (UFSM)  
Presidente/Orientador

  
Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)

  
José Maria Barbat Parfitt, Dr. (EMBRAPA)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Roseli e Vilmar Fin, que me ensinaram os valores da humildade e respeito, aconselhando-me a nunca desistir dos meus objetivos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada é possível.

À minha mãe Roseli, meu pai Vilmar, minha irmã Raquel, os quais estiveram sempre presentes e compartilharam deste momento comigo.

Ao meu orientador, professor Enio Marchesan, o qual me aceitou em seu grupo de pesquisa, onde considero ter adquirido não somente conhecimento técnico, mas sim valores para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores, Paulo Ivonir Gubiani e Alberto Cargnelutti Filho, pelo auxílio em diversas fases da dissertação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade na realização do curso de Mestrado.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.

Ao meu namorado Orli, pelo apoio e entender a necessidade de muitas vezes estar distante.

A todos os colegas do GPai, obrigado pela amizade, pelas aprendizagens, pela troca de experiências. Agradeço especialmente aos bolsistas João Alberto Farenzena e Marcos Murari que auxiliaram no projeto. Agradeço também aos colegas Camille F. Soares, Marília F. da Silva, Anelise L. da Silva, Vinicius S. Trivisioi, Guilherme F. Pozzobon, Guilherme S. Haetinger, Roberto Shutz, Alisson Fleck, Cristiano Fontoura, Vitório Pagliarin, Gabriel Donato, Ricardo de David, Marcelo Lima, Augusto Serafin, Isabel Werle e ao funcionário Ari. Obrigada aos colegas de pós-graduação do GPai, Maurício L. de Oliveira, Lucas L. Coelho, Robson Giacomeli, Lilian Oliveira, Guilherme Cassol, Gerson M. S. Sartori, Bruno B. Aramburu, Mara Grohs e João Ângelo pelo companheirismo, pela amizade, pela convivência, pelos aprendizados.

Ao Laboratório de Física do Solo da UFSM, agradeço especialmente ao professor Paulo I. Gubiani, ao laboratorista Flavio Fontinelli e ao colega André Somavilla, pelo auxílio nos trabalhos conduzidos.

Muito Obrigada!

## RESUMO

### MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO PARA O CULTIVO DA SOJA EM ÁREA DE ARROZ IRRIGADO

AUTOR: Silvana Spaniol Fin  
ORIENTADOR: Enio Marchesan

No Rio Grande do Sul os Planossolos são predominantemente cultivados com a cultura do arroz irrigado, no entanto, o monocultivo do mesmo pode prejudicar o uso dessas áreas para o cultivo do arroz, sendo a rotação de culturas uma alternativa. A soja é uma cultura que pode ser utilizada em rotação com o arroz irrigado. Porém, em função de características desses solos como: drenagem deficiente, baixa condutividade hidráulica e presença de camada compactada próximo à superfície do solo, a produtividade da soja é usualmente limitada principalmente quando ocorre estresse hídrico. Diante disso, o objetivo de estudo foi determinar o efeito do preparo do solo com escarificação e camalhão na preservação dos atributos físicos do solo, bem como seus efeitos em características agronômicas e no rendimento de grãos de soja em um Planossolo. O experimento foi realizado na área didático-experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, RS, na safra de 2015/16. Os tratamentos foram constituídos por dois fatores. Fator A composto por preparos do solo: ES<sub>14</sub> – escarificação do solo em novembro/2014; ES<sub>15</sub> – escarificação do solo em novembro/2015; MI<sub>14</sub> – camalhão construído em novembro/2014; MI<sub>15</sub> – camalhão construído em novembro/2015. O fator D foi aplicado em faixas no período de inverno, composto por pousio, aveia, azevém e trigo como plantas de cobertura do solo. No período de nov/2015 a abr/2016 foi cultivado soja sobre os preparos do solo. Com base nos resultados obtidos, observa-se que não foi detectado o efeito de plantas de cobertura, em um único ano de cultivo, na manutenção dos atributos físicos do solo. O nível de palha de azevém remanente de 3900 kg ha<sup>-1</sup> verificado no presente trabalho reduz a população inicial de plantas de soja. Alterações na densidade, porosidade total e resistência a penetração, promovidas pela escarificação mecânica, são perceptíveis por no mínimo 18 meses. Sendo que a persistência dessas modificações reflete no rendimento de grãos de soja para uma segunda safra. A confecção de camalhão e escarificação próximos a semeadura proporcionam menor ocorrência de deficiência de oxigênio e maior nodulação, resultando em maior rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Escarificação. Camalhão. Rotação de culturas. Compactação.

## ABSTRACT

### SOIL MANAGEMENT AND WINTER COVER PLANTS FOR SOYBEAN CULTIVATION IN IRRIGATED RICE AREA

AUTHOR: SILVANA SPANIOL FIN  
ADVISOR: ENIO MARCHESAN

In Rio Grande do Sul state, the Alfisols areas are predominantly cultivated with irrigated rice, however, the monoculture of rice can complicate the use of these areas for rice crop. An alternative to this is the use of crop rotation. The soybean is a crop that may be used in rotation with irrigated rice, but due some soil characteristics, such as: poor drainage, low hydraulic conductivity and compacted layer present in the soil sub-surface, the soybean yield is usually limited especially in drought years. Accordingly, the objective of this study was to evaluate the duration of mechanical interventions, as soil scarification and raised bed, associated to cover plants during winter season, by means of physical indicators, hydric and oxygen deficiency index, agronomic characteristics and soybean grain yield in lowlands. The experiment was performed in the Lowland Experimental Area of the Federal University of Santa Maria-RS, during 2015/16 growing season. The treatments were composed by two factor. The factor A were composed by tillage systems: ES<sub>14</sub> – Soil scarification in November of 2014; ES<sub>15</sub> – Soil scarification in November of 2015; MI<sub>14</sub> – raised bed built in November of 2014; MI<sub>15</sub> – raised bed build in November of 2015. The D factor was applied during the winter, composed by winter fallow, oat, ryegrass and wheat as soil cover plants. During period from November 2015 up to April 2016, it was grown soybean on the yillage systems. Based on the results obtained, the effect of cover plants were not detected after an unique crop season, on the maintenance of alteration of the soil physical attributes. The level of remaining ryegrass straw of 3900 kg ha<sup>-1</sup> verified in the present study reduces an initial soybean plantas population. Changes in the density, total porosity and soil resistance to mechanical penetration, promoted by deep tillage are noticeable by at least 18 months. This persistence reflect in the soybean grain yield for a second harvest. The raised bed and deep tillage realized in the same seeding period provides less occurrence of oxygen deficiency and greater nodulation, resulting in a higher yield of soybean grains in irrigated rice area.

**Keywords:** *Glycine max.* Scarification, Raised bed. Crop rotation. Soil compaction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ARTIGO 1

- Figura 1. Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica perpendicular aos sulcos de semeadura, em dezembro de 2015 (A) e abril de 2016 (B). Santa Maria, RS. 2016..... 35
- Figura 2. Rendimento de grãos de soja ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) (A) e Condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ ) (B). Cultivar BMX Valente, Santa Maria, RS. 2016.....36

### ARTIGO 2

- Figura 1 - Índices de deficiência hídrica e deficiência de oxigênio (a), umidade gravimétrica no momento da semeadura (b), precipitação pluvial diária (c) e resistência do solo à penetração mecânica (umidade volumétrica:  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (d), rendimento de grãos de soja, cultivar BMX Valente (e). Santa Maria, RS, 2016. .... 53

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela 1.Densidade do solo coletadas nas épocas: novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016 nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm. Santa Maria, RS. 2016.....	31
Tabela 2.Porosidade total, coletadas nas épocas: novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016 nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm. Santa Maria, RS. 2016. ....	32
Tabela 3.Macroporosidade, coletadas nas épocas: novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016 nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm. Santa Maria, RS. 2016.....	33
Tabela 4.Microporosidade, coletadas nas épocas: novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016 nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm. Santa Maria, RS. 2016.....	34

### ARTIGO 2

Tabela 1 - População inicial de plantas em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016. ....	50
Tabela 2 - Estatura de planta (E), massa seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e massa seca da raiz (MSR) nos estádios V6, em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016. ....	51
Tabela 3 - Número de nódulos por planta (NNP), viabilidade dos nódulos (VN), massa seca de nódulos por planta (MSNP) e abundância relativa de ureídos (ARU) nos estádios V6 e R5, em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016. .	52

## **LISTA DE APÊNDICE**

APÊNDICE A – CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	61
APÊNCIDE B – PROFUNDIDADE DE ATUAÇÃO DOS PREPAROS.....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 ARTIGO 1 - Duração de escarificação e camalhão associados à cobertura vegetal na produção de soja em Planossolo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 ARTIGO 2 - Desempenho agrônômico de soja cultivada sob sistemas de manejo do solo e cobertura do solo em área de arroz irrigado .....</b>	<b>37</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul cerca de 5,4 milhões de hectares pertencem a terras baixas, dos quais 1,1 milhão são destinados ao monocultivo de arroz irrigado anualmente. A planta daninha que mais causa prejuízos às lavouras de arroz, diminuindo o rendimento de grãos é o arroz vermelho. Para seu controle foi desenvolvida a tecnologia Clearfield®, porém o arroz vermelho vem se tornando resistente aos herbicidas utilizados por essa tecnologia. Nesse contexto, a sucessão arroz e soja em áreas de arroz possibilita a utilização de herbicidas de mecanismos de ação diferentes para o controle de arroz vermelho e outras plantas daninhas. Além disso, a soja tem apresentado potencial para gerar renda extra ao produtor devido principalmente ao seu alto valor econômico.

Na safra 2015/2016 cultivaram-se em torno de 270 mil hectares de soja em áreas de arroz no Estado (IRGA, 2016). Apesar da expansão da cultura, há dificuldades no manejo dessas áreas para o seu cultivo, pois as mesmas apresentam deficiência em drenagem, baixa porosidade e, conseqüentemente, baixa capacidade de armazenar água e resistência a penetração de raízes por apresentar uma camada subsuperficial compactada. A camada compactada é adquirida através da utilização de implementos em condições de alta umidade do solo, o que eleva a densidade do solo, reduz a quantidade de macroporos interferindo na ocupação dos poros ar e água.

Quando a compactação se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento da cultura, medidas mitigatórias são necessárias, as quais podem ser realizadas no momento da semeadura com a utilização de diferentes mecanismos rompedores do solo e com preparos do solo anterior à semeadura. Além disso, as plantas de cobertura podem contribuir para melhorar a estruturação do solo (agregação e aeração), formação de cobertura vegetal para proteção do solo, manutenção da umidade e diminuição das oscilações de temperatura em superfície, facilitar a infiltração de água, promover a reciclagem de nutrientes, promover ao longo dos anos o aumento dos teores de matéria orgânica, proporcionando melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo.

Desse modo, práticas de manejo utilizando mecanismos que conferem melhor estruturação e aeração do solo associados ao cultivo de plantas de cobertura durante o período de inverno podem ser exploradas como alternativas para promover a adoção de sistemas conservacionistas e garantir a estabilidade produtiva da soja em áreas de arroz. Para tanto, torna-se necessária a condução de estudos em ambiente de terras baixas, a fim de examinar a

viabilidade técnica dessas práticas, uma vez que o conhecimento existente na literatura é, em sua grande maioria, proveniente de terras altas.

A hipótese é que um segundo cultivo de soja pode se beneficiar mais das alterações promovidas pela escarificação e camalhão que antecederam o primeiro cultivo de soja se o segundo cultivo de soja for precedido por plantas de cobertura do que por pousio. Independentemente de suceder o primeiro cultivo de soja em camalhão e escarificação por pousio ou plantas de cobertura, a aplicação da escarificação e camalhão a cada cultivo garante melhor desempenho produtivo da soja do que executados a cada dois cultivos.

Assim, o objetivo geral foi determinar o efeito do preparo do solo com escarificação e camalhão na preservação dos atributos físicos do solo, bem como seus efeitos em características agronômicas e no rendimento de grãos de soja em um Planossolo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

No Rio Grande do Sul cerca de 5,4 milhões de hectares pertencem a terras baixas, correspondendo a 20% da área do Estado (PINTO et al., 2004; GOMES et al., 2006). A localização destes solos é compreendida nas Planícies Costeiras Externa e Interna, e no Litoral Sul junto as Lagoas dos Patos e Mirim, nas Planícies dos rios da Depressão Central, como os rios dos Sinos, Caí, Taquari e Jacuí, e nas regiões da Campanha e Fronteira Oeste, ao longo dos rios Ibicuí, Santa Maria, Quaraí e outros menores (PINTO et al., 2004). No RS, incluídos Gleissolos associados, os planossolos ocupam 56% da área de solos de várzea, representando cerca de 11% da área total do Estado do RS.

Estes solos apresentam um relevo plano e levemente ondulado, nível de lençol freático próximo a superfície, um horizonte B quase impermeável, densidade natural elevada, relação micro/macroporos muito alta e dificuldade de drenagem, muitas vezes motivada pela formação de uma camada subsuperficial compactada, tornando seu manejo complexo (GOMES, et al., 2006). A capacidade de água disponível na maioria desses solos é inferior a  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e a capacidade de armazenamento de água nos primeiros 20 cm é variável entre 0,025 e  $0,15 \text{ m m}^{-1}$ , o que caracteriza uma baixa retenção de água (MANZKE, et al., 2011). Até um determinado ponto, essas condições podem ser consideradas favoráveis para o cultivo com arroz irrigado, por reduzir as perdas de água e de nutrientes, porém são restritivas ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas de sequeiro, podendo, em casos extremos de compactação, serem prejudiciais mesmo para o arroz irrigado (GOMES et al., 2006; LIMA et al., 2003).

### 2.2 CULTIVO DA SOJA EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

O cultivo de soja em áreas de arroz tem aumentado nos últimos anos, sendo que na safra 2015/2016 cultivaram-se em torno de 270 mil hectares da oleaginosa no Estado em áreas que anteriormente eram cultivadas com arroz irrigado. O arroz-vermelho (*Oryza sativa*) é a principal planta daninha do arroz irrigado, por ser de difícil controle e apresentar alto grau de infestação das áreas cultivadas (FLECK et al., 2008; SANTOS et al., 2007). A tecnologia Clearfield® foi desenvolvida para auxiliar o controle do arroz-vermelho, mas diante do uso inadequado dessa tecnologia, algumas populações de plantas tornaram-se resistentes (MENEZES et al., 2009). Em rotação com o arroz, a soja possibilita a utilização de herbicidas

com mecanismos de ação diferentes, tornando mais fácil o manejo das plantas daninhas resistentes (MISSIO et al., 2010). Também pode quebrar ciclos de doenças, insetos-praga e proporcionar melhoria das condições físicas e químicas do solo. Associado aos benefícios agrônômicos no sistema produtivo, os preços atuais da soja, sua produtividade em áreas de arroz e o preço dos insumos utilizados para produção tem garantido rentabilidade para o produtor rural (MARCHESAN, 2013).

Para a utilização destas áreas, onde o estabelecimento de culturas de sequeiro encontra dificuldades de crescimento e desenvolvimento (BAMBERG et al., 2009), torna-se indispensável a drenagem, a qual favorece a aeração do solo. O alagamento do solo reduz as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, além do oxigênio ser consumido pelos microrganismos promovendo a redução do rendimento de grãos nas culturas (CRUCIANI, 1989). Logo, a drenagem deficiente está associada à falta de oxigênio, causando uma redução da respiração das raízes e do volume total destas, formação de compostos tóxicos no solo e na planta, podendo causar a morte das células e até a morte das raízes (SCOTT et al., 1989).

O nitrogênio é um elemento muito importante para o crescimento das plantas e a fixação biológica de nitrogênio pelas bactérias simbióticas em associação com leguminosas desempenha um papel essencial no fornecimento de nitrogênio para os sistemas agrícolas (SICZEK; LIPIEC, 2011), pois reduz a necessidade de adubação mineral. Nesse sentido, a cultura da soja, por ser uma leguminosa apresenta grande demanda de nutrientes, especialmente o nitrogênio, sendo este extraído predominantemente através da fixação biológica por bactérias fixadoras (*Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*) (BRANDELERO et al., 2009). O alagamento modifica o ambiente do solo, promovendo deficiência de oxigênio e acúmulo de gás carbônico (PIRES et al., 2002). Com isso, a falta de oxigênio próximo às raízes pode afetar a fixação simbiótica, ocorrendo diminuição da nodulação (THOMAS et al. 2000). Estresses por déficit hídrico também interfere na nodulação dependendo do estágio que a planta se encontra (NASCIMENTO JUNIOR et al., 2016). Além disso, a nodulação da soja é afetada pelo pH do solo, e quanto menor for este menor será a nodulação (LIN et al., 2012; BEKERE et al., 2013). Somado a isso, fatores como compactação do solo e temperatura (SICZEK; LIPIEC, 2011), e fertilizantes nitrogenados (NOGUEIRA et al., 2010), também são determinantes na nodulação de soja. O início da nodulação em soja ocorre no estágio V2 (emergência do segundo trifólio) e a máxima nodulação em R2 (pleno florescimento), após ocorre decréscimo (RYLE et al., 1979). A nodulação é determinante no rendimento de grãos em soja, pois em trabalho realizado por Brandelero et al. (2009), mais de 40% dos resultados

de rendimento de grãos se correlacionaram com a nodulação (número e massa seca de nódulos), demonstrando alta interação com o rendimento de grãos na cultura da soja.

### 2.3 SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO

Nos solos cultivados com arroz no Rio Grande do Sul, é frequente a presença de camada compactada próxima à superfície, principalmente em áreas cultivadas sucessivamente com arroz irrigado (MARCHESAN, 2013). Essa compactação resulta da operação de máquinas e implementos em condições de umidade excessiva do solo (MUNARETO et al., 2010). Essas operações reduzem o volume de solo em decorrência de um arranjo mais denso de suas partículas, o que ocasiona diminuição do espaço poroso entre elas (GOMES et al., 2006), também há redução da continuidade dos poros, da permeabilidade e da aeração do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994). Como resultado, a compactação também colabora para reduzir a condutividade hidráulica do solo, aumentando a dificuldade de drenagem do perfil (SATO et al., 2012).

Quando a compactação do solo se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento das culturas, é necessária a adoção de medidas mitigatórias. Para isso, a prática corriqueira tem sido a escarificação do solo, que, ao romper a camada superficial encrostada e a camada subsuperficial compactada, aumentam a porosidade e reduz a densidade do solo (KOCHHANN; DENARDIN, 2000). Nessa condição, em um Planossolo testando diferentes preparos do solo a escarificação reduziu a camada compactada do solo proporcionando maior rendimento de grãos de soja (SARTORI et al., 2015) o mesmo efeito se observou para a cultura do milho cultivado sobre o mesmo tipo de solo (GIACOMELI et al., 2016). O emprego de semeadoras equipadas com haste sulcadora associado ao disco de corte também tem sido uma alternativa para descompactação do solo (DRESCHER et al., 2011), influenciando no microambiente próximo a semente e na profundidade de deposição da mesma (REIS et al., 2004), refletindo na emergência das plântulas e no teor de água no solo (KOAKOSKI et al., 2006). Esse efeito pode estar relacionado à maior profundidade do sulco causada pela haste sulcadora (VERUSCHKA et al., 2006).

Há a possibilidade da confecção de camalhões para o plantio da soja podendo ser utilizado para facilitar a drenagem ou possibilitar o uso de irrigação superficial. Márquez (2001) define os camalhões como sulcos paralelos formando um leito de semeadura elevado, proporcionando que o sistema radicular das plantas permaneça em um local mais alto quando a umidade for excessiva. Assim, os camalhões além de proporcionar melhorias na drenagem

das áreas, também podem melhorar características físicas do solo (SARTORI, et al., 2015; GIACOMELI et al., 2016), reduzir a mortalidade de plântulas durante o período de germinação e emergência e aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas (ZHANG, et al., 2012; RODRIGUES, et al., 2013). Em estudo realizado em Planossolo o rendimento de grãos de milho foi maior quando cultivado sobre camalhões (GIACOMELI et al., 2016).

O sistema plantio direto promove a microporosidade, o que aumenta o conteúdo de água armazenada no solo e a disponibilidade hídrica para a cultura da soja, com reflexos positivos sobre a produtividade (RIBEIRO et al., 2016). O sistema de plantio direto (PD) caracteriza-se pelo revolvimento do solo apenas no sulco da semeadura, com rotação de culturas e manutenção da palhada na superfície do solo (BEUTLER et al., 2007). Surgiu com o propósito de reduzir os processos erosivos do solo, pela ausência de mobilização e presença da cobertura vegetal do solo (palhada) e reduzindo o assoreamento e a eutrofização de represas e cursos d'água.

#### 2.4 PLANTAS DE COBERTURA

A cobertura vegetal tem papel fundamental para o solo, pois segundo Prado et al. (2002), a presença destes resíduos culturais na superfície do solo apresenta benefícios de ordem físico-química e biológica, proteção contra erosão, melhoria da ciclagem de nutrientes e efeitos alelopáticos sobre pragas e inibição da emergência de plantas espontâneas. As Poaceas, como a aveia, trigo e azevém possuem um sistema radicular abundante e volumoso, conseguem estruturar o solo ao mesmo tempo em que aumentam o aporte de matéria orgânica, sendo importante na ciclagem de nutrientes, como exemplo, o azevém, possibilita a ciclagem de nutrientes como o nitrogênio e o potássio devido à absorção elevada desses elementos por essa forrageira (SCHOENFELD, 2011).

Além do processo mecânico de romper camadas compactadas do solo com uso de escarificadores, a utilização de espécies de plantas de cobertura, sobretudo com a utilização da rotação de culturas com espécies vegetais com sistema radicular vigoroso faz-se conveniente. O cultivo da aveia e do nabo forrageiro, associado ao uso do sulcador durante a semeadura da soja minimizou os efeitos da compactação do solo ocasionados pelo tráfego, possibilitando a obtenção de produtividades superiores a 3.500 kg ha<sup>-1</sup>, segundo resultados obtidos por Valicheski et al. (2012). Visto que, além da proteção da superfície do solo com a presença de resíduos vegetais, as raízes dessas espécies irão se decompor, deixando canais que proporcionarão o aumento do movimento de água e a difusão de gases (MÜLLER et al., 2001).

Além do efeito do sistema radicular, o acúmulo de matéria orgânica no solo, proporcionado por diferentes formas de manejo, aumenta sua umidade crítica para a compactação, tornando-o mais resistente (Braida et al., 2006). Conforme os autores, a manutenção da palhada na superfície do solo dissipa, até 30%, a energia de compactação à qual o solo é submetido.

## 2.5 PERSISTÊNCIA DE SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO

Além das características do solo e das práticas de manejo empregadas, há divergências quanto a duração dos benefícios advindos de determinados preparos de solo, ainda que essas informações para Planossolos ainda não são existentes na literatura. Em trabalho utilizando nabo forrageiro e aveia durante o período de inverno, sendo considerado como escarificação biológica, houve aumento da persistência da melhoria das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica em um Latossolo (NICOLOSO et al., 2008). Para um Nitossolo, Nunes et al. (2014a) relata que os efeitos positivos da escarificação sobre os atributos físicos do solo e sobre o desenvolvimento radicular de plantas de milho não persistem por mais de 18 meses. A persistência de intervenções mecânicas como escarificação e aração se mantiveram por até dois anos e meio para atributos de porosidade total e macroporosidade após escarificação, e a densidade do solo depois da aração (DRESCHER et al., 2011). Para manutenção de mecanismos do tipo haste sulcadora na semeadura de milho em plantio direto em um Latossolo, Nunes et al. (2014b) verificaram que a melhoria da qualidade física do solo da camada subsuperficial, proporcionada pelo mecanismo, persistiu por pelo menos 12 meses no solo. Ainda para conhecer a duração da descompactação mecânica do solo, em condições de campo, a avaliação de propriedades relacionadas ao processo de transporte de água mostra-se mais adequada, uma vez que apresenta o efeito da escarificação mecânica por até 24 meses (DRESCHER, et al., 2016). O efeito transitório de mecanismo está relacionado à ausência de cobertura adequada do solo, ao tipo de manejo adotado e ao regime de chuvas (DA ROSA et al., 2008). Em anos chuvosos, o solo tende a se recomodar rapidamente, com menor persistência dos efeitos de melhoria nos atributos físicos do solo (NICOLOSO et al., 2008).

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 ARTIGO 1

##### **Duração de escarificação e camalhão associados à cobertura vegetal na produção de soja em Planossolo**

##### **RESUMO**

O objetivo foi determinar o tempo de duração de intervenções mecânicas, como escarificação e camalhão, e se o uso de plantas de cobertura no período do inverno aumenta a duração das modificações provindas dos mesmos, por meio de indicadores físicos e rendimento de grãos de soja em um Planossolo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Um fator foi denominado preparo: ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em nov/2014; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em nov/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em nov/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em nov/2015. Outro fator denominado cobertura: pousio, aveia, azevém e trigo foi aplicado no período de inverno/2015. No período de nov/2015 a abr/2016 foi cultivado soja sobre os preparos. Foram avaliados a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica de solo saturado, resistência do solo à penetração mecânica e rendimento de grãos de soja. Não foi detectado o efeito de plantas de cobertura, em um único ano de cultivo, na manutenção dos atributos físicos do solo. Alterações na densidade, porosidade total e resistência a penetração, promovidas pela escarificação mecânica, são perceptíveis por no mínimo 18 meses. Sendo que a persistência dessas modificações reflete no rendimento de grãos de soja para uma segunda safra.

Termos para indexação: preparo do solo, compactação, rotação de culturas, área de arroz, *Glycine max*.

##### **Duration of deep tillage and raised bed associated to vegetable covering on soybean production in Alfisols**

##### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the duration of mechanical interventions, as deep tillage and raised bed, and if the use of cover plants during winter season, increases the duration

of these modifications, by means of physical indicators and soybean grain yield in Alfisols. The experimental design was randomized block. A factor was composed by tillage systems: ES<sub>14</sub> – deep tillage in November/2014; ES<sub>15</sub> – deep tillage in November/2015; CA<sub>14</sub> – raised bed built in November/2014; CA<sub>15</sub> – raised bed build in November/2015. Another factor was composed by winter fallow, oat, ryegrass and wheat as soil cover plants. During period from November 2015 up to April 2016, it was grown soybean on the tillage systems. The parameters evaluated were soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, hydraulic conductivity of saturated soil, soil resistance to mechanical penetration and soybean grain yield. The effect of cover plants were not detected after an unique crop season, on the maintenance of alteration of the soil physical attributes. Changes in the density, total porosity and soil resistance to mechanical penetration, promoted by deep tillage are noticeable by at least 18 months. This persistence reflect in the soybean grain yield for a second harvest.

Index terms: soil preparation, soil compaction, crop rotation, rice areas, *Glycine max*.

## INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Sul (RS), os Planossolos ocupam em torno de 56% da área de solos de várzea, representando cerca de 11% da área total do estado do RS. Para facilitar o controle de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado, o cultivo de soja tem crescido nos últimos anos nessas áreas, por possibilitar a utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação (Missio et al., 2010), sendo que, na safra 2015/2016 foram semeados cerca de 270 mil hectares de soja nessas áreas (IRGA, 2016). Esses solos se caracterizam por apresentarem densidade natural e relação micro/macroporos elevadas, deficiência de drenagem, sobretudo por causa da baixa condutividade hidráulica do horizonte B ou do material subjacente, e a uma camada subsuperficial compactada (Gomes et al., 2006). Nessa camada e abaixo dela as raízes encontram dificuldade para extrair água e nutrientes do solo (Calonego et al., 2011) o que pode afetar o rendimento de grãos de soja.

Para amenizar a compactação, normalmente são utilizados equipamentos escarificadores, os quais reduzem a densidade do solo, microporosidade, relação micro/macroporos e aumentam a macroporosidade e a porosidade total (Giacomeli et al., 2016; Sartori et al., 2015). Ainda, como exemplo de práticas para melhoria da drenagem da água são citadas a sistematização em declive do terreno e a confecção de camalhões, os quais são utilizados tanto para drenagem como para irrigação, formando um leito de semeadura elevado (Silva et al., 2008). Ambos preparos do solo, escarificação e camalhão, conferem um ambiente

que facilita a drenagem e aeração do sistema radicular, possibilitando maior rendimento de grãos de soja em Planossolos (Sartori et al., 2015).

Uma limitação do uso desses sistemas de implantação é a efemeridade dos benefícios sobre as propriedades do solo (Álvarez et al., 2009), pois a reconsolidação do solo é um processo natural e é mais intenso caso não sejam tomadas medidas preventivas (Abreu et al., 2004). Em complementação ao rompimento da camada compactada podem ser usadas espécies de plantas de cobertura para prolongar os benefícios da descompactação. Além da proteção da superfície do solo pela biomassa e seus resíduos, a decomposição das raízes forma bioporos que facilitam os fluxos de ar e água no solo (Nicoloso et al., 2008).

Nesse sentido, em estudo de Nicoloso et al., (2008) utilizando nabo forrageiro e aveia durante o período de inverno, houve aumento da macroporosidade do solo, diminuição da resistência do solo à penetração e melhora na infiltração de água em um Latossolo. No estudo de Drescher et al. (2016) constatou-se que após escarificação mecânica em um Latossolo a duração das alterações nas variáveis indicadoras do estado estrutural do solo, como densidade, porosidade total e macroporosidade do solo é inferior a uma safra agrícola, e que as propriedades do solo relacionadas ao transporte de água, como condutividade hidráulica e taxa de infiltração estável de água no solo, apresentam, efeito da escarificação por até 24 meses e são as mais sensíveis para avaliar a duração da descompactação mecânica. Em um Nitossolo, Nunes et al., (2014) também relatam que os efeitos positivos da escarificação sobre a densidade do solo e o grau de compactação não persistem por mais de 18 meses.

Desse modo, práticas de manejo utilizando mecanismos que conferem aeração e drenagem do solo associados ao cultivo de plantas de cobertura no período de inverno podem ser exploradas como alternativas para promover a adoção de sistemas conservacionistas e garantir a estabilidade produtiva da soja em áreas de várzea. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar o tempo de duração de intervenções mecânicas, como escarificação e camalhão, e se o uso de plantas de cobertura no período do inverno aumenta a duração das modificações provindas dos mesmos, por meio de indicadores físicos e rendimento de grãos de soja em um Planossolo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido a partir da safra de 2014/2015 até a safra de verão 2015/2016, na área didático-experimental de várzea do Departamento de Fitotecnia da

Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria 29°43'S, 53°43"W e 90 m de altitude. O solo é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, implantado em área de produção de arroz. Em novembro de 2014, cada bloco foi dividido em quatro faixas de 19,2 m de comprimento e 3,5 m de largura, que receberam o fator denominado preparo de solo: ES<sub>14</sub> – escarificação realizada a uma profundidade de 0,25 m, CA<sub>14</sub> – camalhão de 0,1 m de altura e espaçamento entre cristas de 1 m e DD<sub>14</sub>: disco duplo (duas faixas). Entre novembro/2014 e abril/2015 as faixas foram cultivadas com soja. Após a colheita da soja (abril e maio/2015), o fator cobertura foi alocado em quatro faixas de 14 m de comprimento e 4,8 m de largura transversais às faixas dos preparos de solo, e se constituiu de cobertura de aveia, azevém, trigo e sem cobertura (pousio).

O azevém e a aveia (50 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente) foram semeados a lanço em abril de 2015. O trigo foi semeado dia 21 de maio de 2015, com densidade de 300 sementes m<sup>-2</sup>, em linhas. A dessecação das plantas de aveia e azevém foi realizada dia 26 de outubro de 2015, quando havia em média 2839 kg ha<sup>-1</sup> e 3900 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca da parte aérea de aveia e azevém respectivamente. O trigo foi colhido dia 19 de outubro de 2015, cujo rendimento médio de grãos foi 1693 kg ha<sup>-1</sup> e após a colheita foi realizada dessecação.

Em novembro de 2015, as duas faixas que haviam recebido o preparo DD<sub>14</sub> receberam o preparo ES<sub>15</sub> – escarificação, realizada a uma profundidade de 0,25 m e CA<sub>15</sub> – camalhão de 0,1 m de altura e espaçamento entre cristas de 1 m. Também em novembro de 2015 foi semeado soja em toda a área experimental. Utilizou-se a cultivar BMX Valente RR (6968 RSF), na densidade de 28 sementes m<sup>-2</sup>. Devido à baixa emergência das plantas causada pelo excesso de precipitação, realizou-se ressemeadura no dia 07 de dezembro de 2015. As sementes foram tratadas com a mistura de piraclostrobina (25 g L<sup>-1</sup>), tiofanato metílico (225 g L<sup>-1</sup>) e fipronil (250 g L<sup>-1</sup>), na dose de 200 mL por 100 kg de sementes, e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 g por 50 kg de sementes). A adubação de base foi constituída por 17,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, definida conforme recomendações do manual de adubação e calagem (CQFS, 2004). Em razão da ressemeadura, utilizou-se mais 48 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura no estágio vegetativo V6 (Fehr & Caviness, 1977).

Nos preparos ES<sub>14</sub>, CA<sub>14</sub> e ES<sub>15</sub> foi utilizada uma semeadora-adubadora pantográfica, com seis linhas espaçadas 0,50 m, marca Massey Ferguson®, modelo MF 407, equipada com disco liso para o corte da palha e disco duplo na deposição do fertilizante. No preparo CA<sub>15</sub> foi utilizada uma semeadora camalhoneira, com seis linhas espaçadas 0,50 m, marca Industrial KF®, modelo Hyper Plus, equipada com disco liso para o corte da palha e sulcador de

fertilizante tipo haste, composta por três aivecas responsáveis pela formação dos camalhões, sendo cada um composto por duas linhas de cultivo posicionadas na borda de cada elevação.

Em novembro de 2014 (após aplicação de ES<sub>14</sub>, CA<sub>14</sub> e DD<sub>14</sub>), abril de 2015 (após colheita do primeiro cultivo de soja e antes da semeadura das plantas de cobertura), dezembro de 2015 (após aplicação de ES<sub>15</sub> CA<sub>15</sub>) e abril de 2016 (depois da colheita do segundo cultivo de soja) foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada, para determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. As amostras foram coletadas na posição da linha de semeadura da soja e nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm (uma amostra por camada). Após a coleta, as amostras foram saturadas por capilaridade, pesadas e colocadas em coluna de areia (Reinert & Reichert, 2006) sob tensão de 6,0 kPa. Após cessada a drenagem, as amostras foram novamente pesadas, sendo que as amostras coletadas em dezembro de 2015 foram ressaturadas e submetidas à análise de condutividade hidráulica (Ks, mm h<sup>-1</sup>). A Ks foi determinada em permeâmetro de carga constante, de acordo com Libardi (2005). A última etapa foi colocar as amostras em estufa a 105°C. A densidade do solo (Ds, g cm<sup>-3</sup>) foi calculada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume da amostra de solo. A porosidade total (Pt, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) foi calculada pela relação entre o conteúdo volumétrico de água na saturação e o volume da amostra, a microporosidade (Mi, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) pela relação entre o conteúdo volumétrico de água na tensão de 60 kPa e o volume da amostra e a macroporosidade (Ma, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP, MPa) foi determinada em dezembro/2015, após semeadura da soja e em abril/2016, no final do ciclo de desenvolvimento da soja, sobre CA<sub>14</sub>, ES<sub>14</sub>, CA<sub>15</sub>, ES<sub>15</sub>. A RP foi medida na camada de 0– 0,30 m, com penetrógrafo digital da marca Falker, modelo PLG 1020, em oito pontos dispostos perpendicularmente às linhas de semeadura e equidistantes em 0,167 m, seis nas entrelinhas e dois nos sulcos de semeadura. Com os dados de RP foram confeccionados gráficos de superfície. O rendimento de grãos foi determinado somente no segundo cultivo de soja, através da colheita manual em área útil de 4 m<sup>2</sup>, expresso com base em 13% de umidade.

A análise da variância dos dados, precedida pela análise de normalidade e homogeneidade das variâncias, foi realizada pelo teste F. Para a densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade o interesse foi avaliar o efeito da combinação preparo com o tempo de aplicação dos preparos (primeiro conjunto de tratamentos), sendo que as combinações foram comparadas com a referência DD<sub>14</sub>, usando-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. Essa análise foi feita separadamente para cada fator cobertura. Para o rendimento de grãos e condutividade hidráulica, o interesse foi avaliar o efeito da combinação

preparo com cobertura (segundo conjunto de tratamentos), usando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada de 0-10 cm, o efeito do camalhão (CA) e escarificação (ES) foi significativo na densidade do solo (Ds) (Tabela 1) e porosidade total (Pt) (Tabela 2), decresceu na microporosidade (Mi) (Tabela 4) e na macroporosidade (Ma) (Tabela 3). Nos casos onde as diferenças foram significativas, a ES e o CA diminuíram a Ds e aumentaram a Pt, Ma e Mi em relação ao tratamento disco duplo confeccionado em 2014 (DD<sub>14</sub>). Independentemente das plantas de cobertura cultivadas após a escarificação e camalhão efetuados em novembro/2014, esses preparos de solo mantiveram por 18 meses (até abril de 2016) a Ds, Pt e Mi significativamente diferentes das respectivas medições feitas no DD<sub>14</sub>. O mesmo pode ser verificado para a Ma no ES<sub>14</sub>, mas apenas nas parcelas cultivadas com trigo e em pousio, e para a Ma no CA<sub>14</sub>, nas parcelas cultivadas com azevém. Isso indica que as operações de escarificação e camalhão em 2015, que aumentaram a porosidade (Pt, Ma e Mi) e diminuíram a Ds, poderiam ser dispensadas já que ainda se mantinham as melhorias resultantes da ES e CA realizados em nov/2014.

Na camada de 10-20 cm são poucos os casos com diferenças significativas ao comparar a Ds, Pt, Ma e Mi medidas após semeadura das plantas de cobertura com às medições em nov/2014 no DD<sub>14</sub>. Em números absolutos, todos os tratamentos apresentaram diminuição da Ds. É importante ressaltar que a persistência desses efeitos pode ser intensificada ou retardada, dependentes da intensidade de manifestação de fatores que controlam a reconsolidação e resiliência do solo, como precipitação, ciclos de umedecimento e secagem, e espécie cultivada (Six et al., 2004), sendo que a maioria desses fatores não é controlável em campo.

Quanto às plantas de cobertura, não há evidência clara de que alguma das espécies contribuiu para a alteração da Ds, Pt, Ma e Mi feitas depois (dez/2015 e abril/2016) com as feitas antes da introdução das plantas de cobertura (DD<sub>14</sub>, nov/2014 e abr/2015). Por isso, não foi possível verificar em um único cultivo se alguma das espécies de cobertura prolongaria a manutenção das alterações na estrutura do solo promovidas pela escarificação e confecção do camalhão. Da mesma forma, a densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade, não foram alteradas após um ano de cultivo das plantas de cobertura em trabalho realizado por Cardoso et al. (2013). Já para Stumpf et al. (2014) foram necessários no mínimo três anos para que poáceas proporcionassem melhoria na estruturação física do solo.

A resistência à penetração (RP) medida em dezembro de 2015, logo após semeadura da soja (Figura 1A), e em abril de 2016, no final do desenvolvimento da cultura (Figura 1B), também não permite perceber que alguma espécie tenha modificado a resistência mecânica do solo com clareza e regularidade para todas as épocas e preparos de solo. As diferenças mais marcantes de RP são entre escarificação e camalhão independente do ano em que foi aplicado. A escarificação diminuiu a RP em toda a camada de 0-30 cm, ao passo que o CA<sub>14</sub> diminuiu a RP até aproximadamente 10 cm de profundidade e no CA<sub>15</sub> diminuiu até aproximadamente 15 cm. Esses resultados estão de acordo com a redução da Ds e aumento da Pt na camada de 0-10 cm, discutidos anteriormente. Ainda a mobilização da linha de semeadura observada nos gráficos de RP coincide com a profundidade de atuação dos mecanismos, sendo que a escarificação realizada em 2014 no momento da semeadura havia efeito até 25 cm de profundidade e a escarificação realizada no ano de 2015 atuou à 30 cm de profundidade. O camalhão confeccionado em 2014, foi semeado com mecanismo disco duplo atuando em torno de 7 cm de profundidade e o camalhão confeccionado em 2015, juntamente com o processo de construção do mesmo foi utilizada haste sulcadora para deposição das sementes, onde a mesma atuou a uma profundidade de aproximadamente 18 cm.

Em ambas as épocas de medição, a RP abaixo de 15 cm em CA<sub>14</sub> e CA<sub>15</sub> são semelhantes. Por isso, pode-se considerar que a RP abaixo de 15 cm em CA<sub>14</sub> e CA<sub>15</sub> representa a condição de resistência mecânica do solo definida pelo histórico de uso do solo, pois ao longo do período de novembro/2014 a abril/2016 não houve mobilização do solo abaixo de 15 cm. Com base nessa referência verifica-se que a escarificação feita em novembro/2014 (ES<sub>14</sub>) manteve o solo com menor resistência à penetração mecânica até dez/2015 (Figura 1A), que se estendeu até abril/2016 (Figura 1B). Outra evidência de que não seria necessário repetir a escarificação no solo antes de 18 meses é que não se percebe diferenças marcantes quando se contrasta, em abril/2016 (Figura 1B), as medidas de RP feitas nos tratamentos com solo escarificado em nov/2015 (ES<sub>15</sub>) com as feitas em solo escarificado em novembro/2014 (ES<sub>14</sub>). Em condição de solo com menor conteúdo de água (0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), isto é, em dez/2015 (Figura 1), também não se percebe diferenças marcantes para os mesmos contrastes (ES<sub>15</sub> vs ES<sub>14</sub>). Além disso os valores de RP para ES mantiveram-se abaixo de 2 MPa, o qual é usualmente considerado como limitante para o desenvolvimento radicular (Bortoluzzi et al., 2014). A RP tem grande variação com a mudança do conteúdo de água do solo pois a água reduz o atrito entre as partículas (Assis et al., 2009), assim em solo com conteúdo maior de umidade a redução de RP é favorecida, como é o caso da avaliação de RP feita em abr/2016.

Com relação a condutividade hidráulica de solo saturado ( $K_s$ ) (Figura 2B), na camada de 0-10 cm os preparos realizados em nov/2015 e a escarificação realizada em nov/2014 apresentaram maiores valores de  $K_s$  diferindo do camalhão confeccionado em nov/2014, não havendo diferença para as plantas de cobertura. Na camada de 10-20 cm a escarificação realizada em nov/2015 manteve a maior condutividade seguida da escarificação realizada em nov/2014, os menores valores foram dos camalhões realizados em ambos os anos. Sendo assim, a duração dos efeitos de preparos de solo depende de qual propriedade do solo foi avaliada. Segundo Drescher et al. (2016) e Reichert et al. (2009) a avaliação da RP serve como parâmetro melhor que a  $D_s$  e a  $P_t$  para apoiar a decisão de repetir ou não a escarificação do solo. Drescher et al. (2016) ainda destaca que juntamente com a RP a  $K_s$  e taxa de infiltração foram as mais sensíveis em detectar a duração das alterações provocadas na estrutura do solo. As avaliações de densidade e porosidade total permitem identificar alterações na ocupação do volume de solo por sólidos ou vazios, para períodos menores como o de uma safra agrícola, já para períodos mais prolongados, avaliações de  $K_s$  e taxa de infiltração são as que permitem identificar alterações no transporte de água no solo (Drescher et al. 2016). Assim, tanto as medidas de  $D_s$ ,  $P_t$ , RP e  $K_s$  sugerem que não há necessidade de repetir a escarificação antes de 18 meses.

Para o rendimento de grãos de soja (Figura 2A) também não houve interferência das plantas de cobertura. Para os preparos houve diferença significativa, o camalhão e a escarificação realizados em 2015 proporcionaram o maior rendimento de grãos, não diferindo da escarificação realizada em nov/2014. O menor rendimento ocorreu no  $CA_{14}$ , tendo como possível explicação a menor mobilização na linha semeadura que foi semeado utilizando disco duplo. O mecanismo disco duplo em função de não ter efeito de profundidade não é eficiente em reduzir a camada compactada na linha de semeadura (Sartori et al., 2015). Além disso a safra 2015/2016 foi de El Niño, a qual teve elevados volumes de precipitação pluvial, isto possivelmente fez com que o  $CA_{15}$  fosse favorecido pela recém confecção, estando mais elevado que o  $CA_{14}$ , possibilitando que as plantas se estabelecessem em uma região mais distante do excesso hídrico e sendo mais eficiente na drenagem pelos sulcos, os quais no  $CA_{14}$  já haviam sofrido erosão. Portanto para se reutilizar o camalhão é necessário analisar como será o clima na próxima safra agrícola, realizar a colheita da cultura de verão com solo seco e ainda garantir que não haja obstrução dos sulcos de drenagem, caso contrário haverá perda de rendimento como observado nos resultados do experimento. Além disso, a profundidade do sulco, associado ao tipo de solo, também afetam a profundidade do sulco no próximo cultivo.

As maiores produtividades de grãos foram obtidas nos tratamentos com maior mobilização do solo e estão relacionadas à redução da RP,  $D_s$ ,  $P_t$  e aumento da  $K_s$ . As

evidências de duração de parte dos benefícios da escarificação por no mínimo 18 meses, também encontrados por Drescher et al. (2016), relacionaram-se com os resultados de rendimento de grãos havendo redução de 4,3% para ES<sub>14</sub> relacionada com a ES<sub>15</sub>, podendo ser analisada a realização de uma nova escarificação, a qual requerer maior força para tração, o que resulta em maior consumo de combustível e maior demanda de potência do trator, elevando os custos de produção (Vizzotto, 2014; Rodrigues, 2015).

## CONCLUSÕES

Mudanças na densidade, porosidade total e resistência a penetração em Planossolos, promovidas pela escarificação mecânica, são perceptíveis por no mínimo 18 meses, o mesmo não ocorre para o camalhão. A permanência dessas modificações reflete no rendimento de grãos de soja para uma segunda safra.

Não foi detectado o efeito de plantas de cobertura, azevém, aveia e trigo, em um único ano de cultivo, na manutenção dos atributos físicos do solo e no rendimento de grãos de soja.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.
- ÁLVAREZ, C.R. et al. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. **Ciencia del Suelo**, v.27, p.159-169, 2009.
- ASSIS, R.L. de. et al. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.558-568, 2009.
- CALONEGO, J.C. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.289-296, 2011.
- CARDOSO, D. P. et al. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Agrária**, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e SC**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- DRESCHER, M. S. et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special report, 80).

GIACOMELI, R. et al. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.261-270, 2016.

GOMES, A. DA. S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169).

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA, 2016, disponível em <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20090828095727.pdf>, acesso em 3 de novembro de 2016.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005. 335p.

MISSIO, E. L. et al. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.16, n.1 e 2, p.23-29, 2010.

NICOLOSO, R. da. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NUNES, M. R. et al. Persistência dos efeitos da aescarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.49, n.7, p.531 -539, 2014.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38(1), p. 262-271, 2014.

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.310-319, 2009.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, v.36, p.1931-1935, 2006.

RODRIGUES, F. A. **Avaliação de sistemas de implantação de soja em áreas típicas de cultivo de arroz irrigado**. 2013, 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SARTORI, G. M. S. et al. Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, 2015.

SILVA, C. A. S. da. et al. **Drenagem superficial para cultivos rotacionados em solos de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 22 p.

SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

STUMPF, L. et al. Estrutura de um solo construído cultivado com diferentes espécies de poáceas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2171-2177, 2014.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine max* L).** 2014. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

**Tabela 1-** Densidade do solo medida nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm, em novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016. Santa Maria, RS. 2016.

Densidade (Mg m <sup>-3</sup> ) 0-10cm														CV
Época de avaliação	-----NOV/2014-----			-ABR/2015-			-----DEZ/2015-----			-----ABR/2016-----				(%)
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	1,59 <sup>(1)</sup>	1,31*	1,34*	1,38*	1,42*	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0
	-	-	-	-	AV	1,38*	1,41*	1,42*	1,28*	1,43*	1,44*	1,38*	1,34*	4,5
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	1,33*	1,24*	1,40*	1,38*	1,40*	1,32*	1,32*	1,34*	6,1
	-	-	-	-	TR	1,43*	1,40*	1,39*	1,39*	1,41*	1,44*	1,40*	1,33*	4,2
	-	-	-	-	PO	1,41*	1,38*	1,43*	1,33*	1,43*	1,34*	1,41*	1,36*	4,9
Densidade (Mg m <sup>-3</sup> ) 10-20cm														
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	1,66 <sup>(1)</sup>	1,40*	1,50*	1,47*	1,43*	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1
	-	-	-	-	AV	1,56	1,58	1,60	1,55	1,54	1,59	1,47*	1,49*	5,2
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	1,55	1,50*	1,55	1,57	1,55	1,47*	1,45*	1,44*	5,3
	-	-	-	-	TR	1,51	1,55	1,56	1,44*	1,53	1,66	1,49*	1,44*	5,7
	-	-	-	-	PO	1,61	1,59	1,58	1,61	1,61	1,53*	1,51*	1,60	3,7

ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; a partir de dezembro/2015 as coletas foram realizadas nos preparos associados com as plantas de cobertura no período de inverno; AV: aveia; AZ: azevém; TR: trigo; PO: pousio. <sup>(1)</sup> Médias do tratamento referência; médias seguidas de \* diferem da referência pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. -: dados não coletados.

**Tabela 2-** Porosidade total medida nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm, em novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016. Santa Maria, RS. 2016.

Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) 0-10cm														
Época de avaliação	-----NOV/2014-----			-ABR/2015-			-----DEZ/2015-----			-----ABR/2016-----			CV	
	(%)													
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,38 <sup>(1)</sup>	0,49*	0,47*	0,50*	0,44*	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2
	-	-	-	-	AV	0,46*	0,47*	0,47*	0,50*	0,46*	0,45*	0,50*	0,51*	7,2
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,48*	0,48*	0,46*	0,47*	0,49*	0,52*	0,51*	0,51*	7,6
	-	-	-	-	TR	0,45*	0,46*	0,51*	0,45*	0,48*	0,47*	0,49*	0,50*	7,3
	-	-	-	-	PO	0,43	0,44*	0,46*	0,49*	0,48*	0,51*	0,48*	0,49*	6,6
Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) 10-20cm														
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,40 <sup>(1)</sup>	0,45	0,41	0,42	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-	9,0
	-	-	-	-	AV	0,41	0,40	0,41	0,45	0,43	0,41	0,46	0,43	8,3
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,42	0,43	0,44	0,42	0,43	0,52	0,48	0,46	12,4
	-	-	-	-	TR	0,43	0,41	0,46*	0,45*	0,41	0,37	0,45*	0,46*	6,9
	-	-	-	-	PO	0,39	0,40	0,41	0,44*	0,41	0,41	0,45*	0,42	5,3

ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; a partir de dezembro/2015 as coletas foram realizadas nos preparos associados com as plantas de cobertura no período de inverno; AV: aveia; AZ: azevém; TR: trigo; PO: pousio. <sup>(1)</sup> Médias do tratamento referência; médias seguidas de \* diferem da referência pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. -: dados não coletados.

**Tabela 3-** Macroporosidade medida nas camadas de 0,0–10 cm e 10-20 cm em novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016. Santa Maria, RS. 2016.

Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) 0-10cm														CV
Época de avaliação	-----NOV/2014-----			-ABR/2015-			-----DEZ/2015-----			-----ABR/2016-----				(%)
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,05 <sup>(1)</sup>	0,18*	0,15*	0,10*	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	21,8
	-	-	-	-	AV	0,09	0,09	0,09	0,13*	0,08	0,07	0,09	0,12*	27,6
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,09	0,12*	0,08	0,08	0,09	0,12*	0,10*	0,10*	31,6
	-	-	-	-	TR	0,07	0,09	0,12*	0,10*	0,10*	0,07	0,09	0,09	27,6
	-	-	-	-	PO	0,08	0,07	0,07	0,11*	0,09*	0,07	0,09*	0,09*	22,3
Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) 10-20cm														
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,03 <sup>(1)</sup>	0,14*	0,11*	0,04	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	52,1
	-	-	-	-	AV	0,06	0,05	0,03	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	41,5
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07*	0,08*	36,9
	-	-	-	-	TR	0,07*	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,08*	0,06*	28,6
	-	-	-	-	PO	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,08*	0,05	28,3

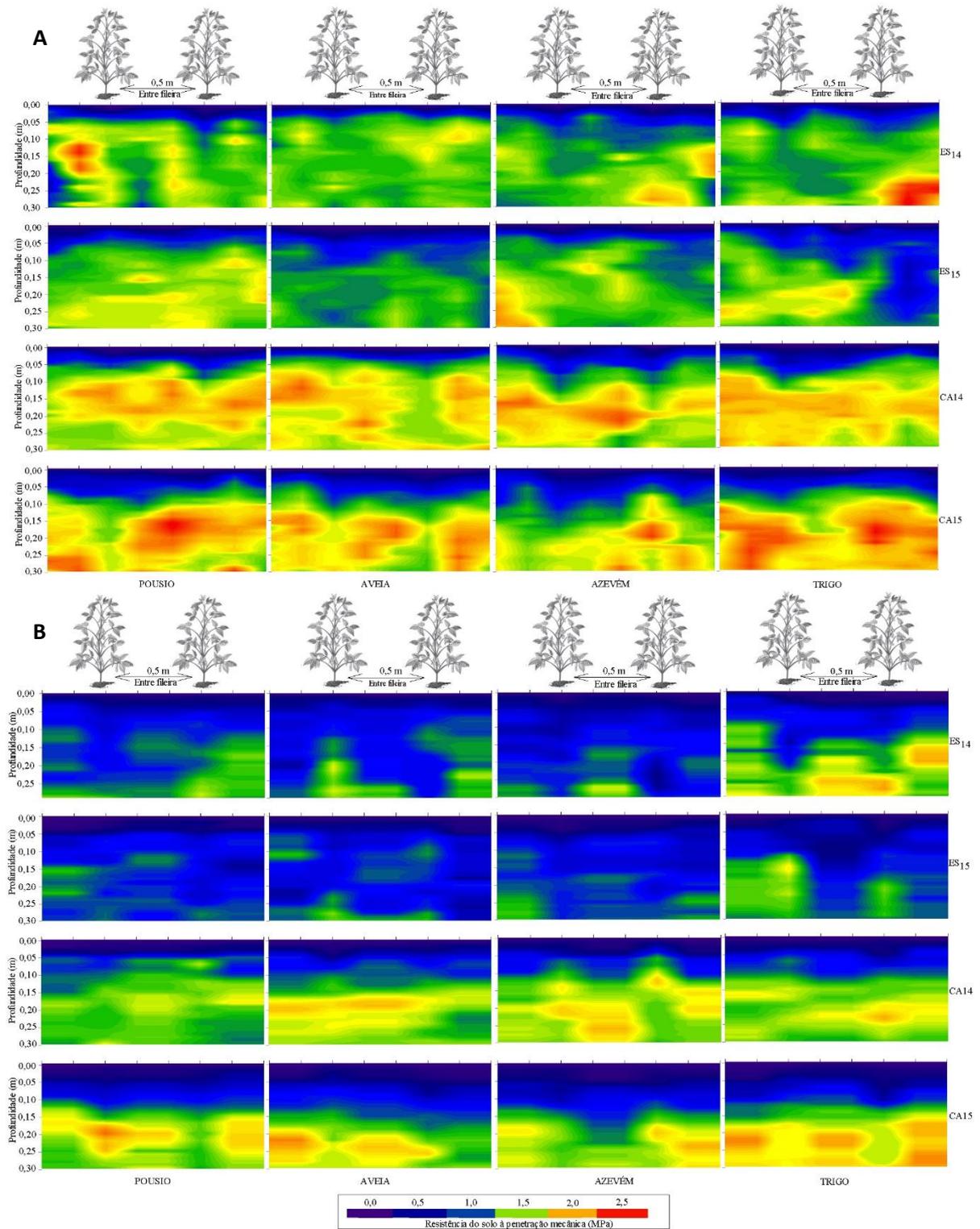
ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; a partir de dezembro/2015 as coletas foram realizadas nos preparos associados com as plantas de cobertura no período de inverno; AV: aveia; AZ: azevém; TR: trigo; PO: pousio. <sup>(1)</sup> Médias do tratamento referência; médias seguidas de \* diferem da referência pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. -: dados não coletados.

**Tabela 4-** Microporosidade medida nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm em novembro/2014, abril/2015, dezembro/2015 e abril/2016. Santa Maria, RS. 2016.

Microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ) 0-10cm														CV (%)
Época de avaliação	-----NOV/2014-----			-ABR/2015-		-----DEZ/2015-----				-----ABR/2016-----				
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,33 <sup>(1)</sup>	0,31	0,32	0,40*	0,39*	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3
	-	-	-	-	AV	0,37	0,38*	0,38*	0,37	0,38*	0,38*	0,41*	0,39*	7,1
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,38*	0,38*	0,38*	0,39*	0,40*	0,40*	0,41*	0,41*	6,3
	-	-	-	-	TR	0,38*	0,37	0,39*	0,36	0,38*	0,40*	0,41*	0,41*	6,6
	-	-	-	-	PO	0,36	0,37	0,39*	0,38*	0,39*	0,39*	0,39*	0,40*	7,7
Microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ) 10-20cm														
Preparo	DD <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	ES <sub>14</sub>	CA <sub>14</sub>	ES <sub>15</sub>	CA <sub>15</sub>	
	0,37 <sup>(1)</sup>	0,31*	0,30*	0,38	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	4,9
	-	-	-	-	AV	0,35	0,35	0,38	0,37	0,37	0,36	0,39	0,39	4,9
Plantas de cobertura	-	-	-	-	AZ	0,36	0,36	0,38	0,37	0,37	0,46	0,41	0,39	14,4
	-	-	-	-	TR	0,36	0,35	0,39*	0,36	0,37	0,35	0,38	0,40*	3,9
	-	-	-	-	PO	0,35	0,35	0,37	0,37	0,37	0,36	0,37	0,37	3,0

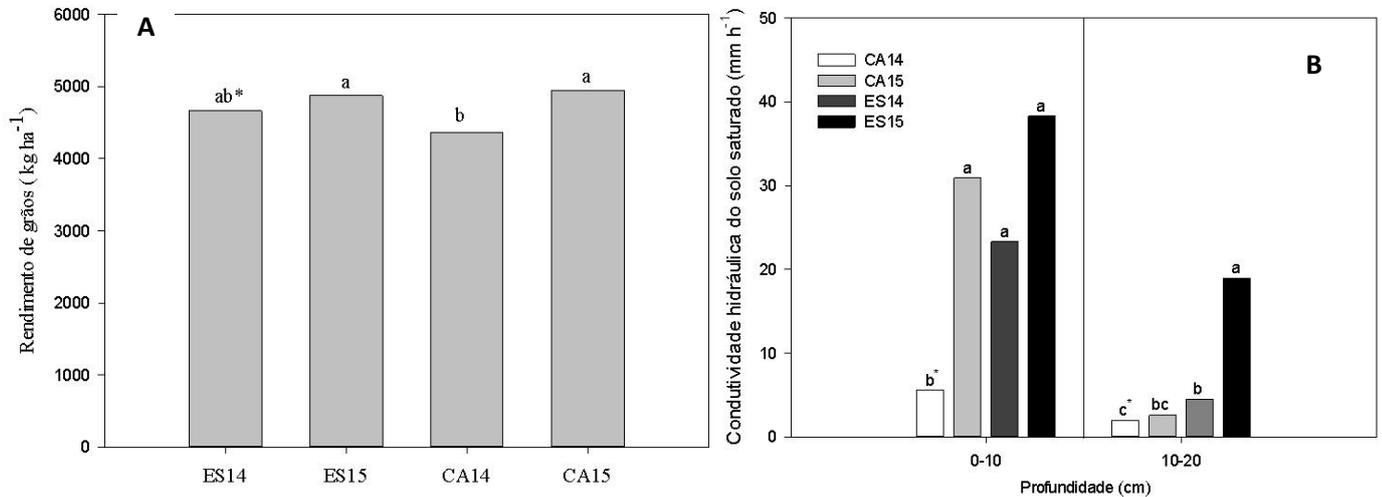
ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; a partir de dezembro/2015 as coletas foram realizadas nos preparos associados com as plantas de cobertura no período de inverno; AV: aveia; AZ: azevém; TR: trigo; PO: pousio. <sup>(1)</sup> Médias do tratamento referência; médias seguidas de \* diferem da referência pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. -: dados não coletados.

**Figura 1-** Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica perpendicular aos sulcos de semeadura, em dezembro de 2015 (A) e abril de 2016 (B). Santa Maria, RS. 2016.



Preparos do solo (horizontal): ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; plantas de cobertura (vertical); conteúdo de água do solo de  $0,33\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ (A) e  $0,35\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ (B), na média da camada de 0,0–0,30 m.

**Figura 2-** Rendimento de grãos de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (A) e condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ ) (B). Cultivar de soja BMX Valente, Santa Maria, RS. 2016.



ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; \* Médias não seguidas da mesma letra nas barras diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV: A: 9%; B: 0-10:48%, 10-20: 24%.

## 3.2 ARTIGO 2

### **Desempenho agrônômico de soja cultivada sob sistemas de manejo do solo e cobertura do solo em área de arroz irrigado**

#### **RESUMO**

O objetivo do trabalho foi identificar o efeito de sistemas de implantação aplicados em diferentes momentos associado a coberturas do solo durante o inverno, na permanência de estresse por deficiência hídrica e de oxigênio, características agrônômicas e no rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado. Os tratamentos foram compostos por dois fatores. O Fator A foi composto por preparo do solo: ES<sub>14</sub> – escarificação do solo em novembro/2014; ES<sub>15</sub> – escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub> – camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub> – camalhão construído em novembro/2015. O fator D foi aplicado em faixas no período de inverno, composto por pousio e azevém como cobertura do solo no outono-inverno. No período de nov/2015 a abr/2016 foi cultivado soja sobre os preparos do solo. Foram avaliados os parâmetros população inicial de plantas, massa seca de parte aérea e raiz, estatura, índice de área foliar, nodulação, abundância relativa de ureídos, índices de deficiência hídrica e de oxigênio, resistência do solo à penetração e rendimento de grãos de soja. O nível de palha de azevém remanecente de 3900 kg ha<sup>-1</sup> verificado no presente trabalho reduz a população inicial de plantas de soja. A confecção de camalhão e escarificação próximos a semeadura proporcionam menor ocorrência de deficiência de oxigênio e maior nodulação, resultando em maior rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado.

Palavras-chave: escarificação, camalhão, deficiência de oxigênio, deficiência hídrica, rotação de culturas, *Glycine max*.

#### **Soybean agronomic performance grown under soil management systems and ground cover in irrigated rice areas.**

#### **ABSTRACT**

The objective of this study was to identify the effect of implementation systems applied in different moments associated to soil cover plant during the winter, in the permanence of stress

due to hydric and oxygen deficiency, agronomic characteristics and soybean grain yield in irrigated rice areas. The factor A was composed by tillage systems: ES<sub>14</sub> – Soil scarification in November of 2014; ES<sub>15</sub> – Soil scarification in November of 2015; CA<sub>14</sub> – raised bed built in November of 2014; CA<sub>15</sub> – raised bed build in November of 2015. The D factor was apply during the winter, composed by winter fallow, ryegrass as soil ground cover during fall-winter. During period from November 2015 up to April 2016, it was grown soybean on the tillage systems. The parameters evaluated were initial population of plants, dry mass of aerial part and root, stature, leaf area index, nodulation, relative abundance of ureides, hydric and oxygen deficiency index, resistance to penetration and soybean grain yield. The level of remaining ryegrass straw of 3900 kg ha<sup>-1</sup> verified in the present study reduces an initial soybean plantas population. The raised bed and deep tillage realized in the same seeding period provides less occurrence of oxygen deficiency and greater nodulation, resulting in a higher yield of soybean grains in irrigated rice area.

Keywords: scarification, raised bed, oxygen deficiency, hydric deficiency, crop rotation, *Glycine max*.

## INTRODUÇÃO

A cultura da soja vem sendo utilizada nos últimos anos em áreas de arroz irrigado pelo fato de proporcionar benefícios no controle de plantas daninhas, doenças e pragas do arroz irrigado, apresentando alto valor econômico (MISSIO et al. 2010). Na última safra (2015/2016) foram cultivados em torno de 270 mil hectares de soja em áreas de arroz no estado do Rio Grande do Sul (RS) (IRGA 2016). Dentre os solos pertencentes à essas áreas estão os Planossolos, os mesmos caracterizam-se pela formação de um ambiente hidromórfico, com severas restrições à drenagem de água em seu perfil, associada a uma densidade natural elevada e a formação de uma camada compactada muito próxima à superfície do solo (PEDROTTI et al. 2005).

Em decorrência dessa camada compactada o solo fica deficiente em drenagem, eleva a resistência à penetração de raízes, reduz a porosidade e, conseqüentemente, diminui a capacidade de armazenar água (GOMES et al. 2006). Portanto, nesses ambientes a soja está sujeita a estresses frequentes, tanto por deficiência de oxigênio, quanto por deficiência hídrica, os quais afetam diretamente os processos morfofisiológicos da planta.

Embora a soja seja considerada uma cultura com tolerância elevada ao excesso hídrico (VAN TOAI et al. 2010), esse tipo de estresse é o mais relevante para sua produção em áreas de arroz, pois estudos mostram que o excesso hídrico na fase inicial de desenvolvimento da soja reduz de maneira intensa a taxa de respiração das raízes o que dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas (FANTE et al. 2010; KOKUBUN 2013). Além disso, a deficiência de oxigênio pode prejudicar a nodulação e a atividade da enzima nitrato redutase, reduzindo a fixação biológica de nitrogênio (RHINE et al. 2010; LANZA et al. 2013).

Na busca de manejos que reduzam possíveis estresses e limitações provocadas pelo encharcamento do solo e pela deficiência hídrica, o preparo do solo com escarificação, utilização de camalhão e haste sulcadora no momento da semeadura podem ser alternativas, pois proporcionam maior rendimento de grãos de soja em áreas de arroz devido ao aumento da porosidade total e macroporosidade do solo o que confere maior aeração e drenagem (GIACOMELI et al. 2016; SARTORI et al. 2015).

A duração dos benefícios advindos da mobilização do solo que favorecem a aeração e drenagem para os cultivos vem sendo estudados. Em área de terras altas a escarificação teve duração de 18 meses para os atributos físicos do solo em cultivo de milho (NICOLOSO et al. 2008) e de 24 meses em características relacionados ao fluxo de água no solo (DRESCHER et al. 2016). A maioria dos solos quando mobilizados tem tendência de reacomodar as partículas, dependentemente da intensidade da manifestação de fatores controladores da reconsolidação e da resiliência do solo, (DRESCHER et al. 2016). Tal fato pode ser controlado com a utilização de plantas de cobertura durante o período de inverno, mantendo o solo coberto protegendo-o de agentes externos.

O azevém é uma planta de cobertura que apresenta boa adaptação as características dos solos de áreas de arroz produzindo uma elevada quantidade de matéria seca e ainda, a utilização de culturas de cobertura com um sistema radicular agressivo, como o azevém, pode minimizar o efeito da degradação do solo por meio da progressiva melhoria da estrutura do mesmo (WOHLENBERG et al. 2004).

Portanto, juntamente com as demais práticas de manejo, é necessária a adoção de um preparo do solo que reduza possíveis períodos de estresse. A determinação das deficiências hídrica e de oxigênio por quantificação dos fluxos de água e oxigênio é complexa, tanto em termos de medição quanto de modelagem. Por tais razões, índices empíricos relacionados com esses estresses são frequentemente utilizados (GUBIANI et al. 2013). A função empírica descrita por Feddes et al. (1978) é uma possibilidade de estimar a deficiência de oxigênio ou de água com base no conteúdo de água ou potencial matricial.

Em vista do exposto, o objetivo do trabalho foi identificar o efeito de preparos do solo aplicados em diferentes safras associado a cobertura do solo durante o inverno, na permanência de estresse por deficiência hídrica e de oxigênio, características agronômicas e no rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a partir da safra de 2014/2015 até a safra de verão 2015/2016. O solo da área é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA 2013), cuja camada de 0-0,2 m foi caracterizada pelas determinações: argila= 260 g kg<sup>-1</sup>; pH água (1:1) = 5,4; saturação por bases= 70,2 %; P= 7,6 mg dm<sup>-3</sup>; K= 88 mg dm<sup>-3</sup>; Ca= 7,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al= 0,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg= 2,9 cmolc dm<sup>-3</sup>; S= 15,2 Mg dm<sup>-3</sup> e MO= 20,0 g kg<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, divididos em faixas para os níveis do fator A e do fator D (fatorial 4x2), implantados em área de produção de arroz. Cada bloco foi dividido em quatro faixas de 19,2 m de comprimento e 3,5 m de largura, que receberam o fator A, denominado preparo de solo: ES<sub>14</sub> – escarificação realizada a uma profundidade de 0,25 m em novembro de 2014 (A1); CA<sub>14</sub> – camalhão de 0,1 m de altura e espaçamento entre cristas de 1 m contruído em novembro de 2014 (A2); ES<sub>15</sub> – escarificação realizada a uma profundidade de 0,25 m em novembro de 2015 (A3); CA<sub>15</sub> – camalhão de 0,1 m de altura e espaçamento entre cristas de 1 m contruído em novembro de 2015 (A4). Entre novembro/2014 e abril/2015 as faixas foram cultivadas com soja. Após a colheita da soja (abril e maio/2015), o fator D, denominado cobertura foi alocado em duas faixas de 14 m de comprimento e 4,8 m de largura transversais às faixas dos preparos de solo, e se constituiu de cobertura de azevém (D1) e sem cobertura (pousio) (D2).

O azevém foi semeado a lanço na quantidade de 50 kg ha<sup>-1</sup> sobre os preparos realizados em 2014 e sobre a área destinada aos preparos de 2015. Nas parcelas em pousio, realizou-se o controle das plantas daninhas com a aplicação de herbicida de ação total para manter o solo descoberto. A adubação de base do azevém foi realizada conforme a indicação da análise de solo. A dessecação do azevém foi realizada 30 dias antes da semeadura de soja e no momento da semeadura havia em média 3900 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca remanescente da parte aérea de azevém.

Em novembro de 2015 foi semeado soja em toda a área experimental. Utilizou-se a cultivar BMX Valente RR (6968 RSF), na densidade de 28 sementes  $m^{-2}$ . Devido à baixa emergência das plantas causada pelo excesso de precipitação, realizou-se ressemeadura no dia 07 de dezembro de 2015. As sementes foram tratadas com a mistura de piraclostrobina ( $25\text{ g L}^{-1}$ ), tiofanato metílico ( $225\text{ g L}^{-1}$ ) e fipronil ( $250\text{ g L}^{-1}$ ), na dose de 200 mL por 100 kg de sementes, e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 g por 50 kg de sementes). A adubação de base foi constituída por  $17,5\text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $70\text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  e  $70\text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , definida conforme recomendações do manual de adubação e calagem (CQFS, 2004). Em razão da ressemeadura, utilizou-se mais  $48\text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  em cobertura no estágio vegetativo V6 (Fehr & Caviness, 1977).

Nos preparos ES<sub>14</sub>, CA<sub>14</sub> e ES<sub>15</sub> foi utilizada uma semeadora-adubadora pantográfica, com seis linhas espaçadas 0,50 m, marca Massey Ferguson®, modelo MF 407, equipada com disco liso para o corte da palha e disco duplo na deposição do fertilizante. No preparo CA<sub>15</sub> foi utilizada uma semeadora camalhoneira, com seis linhas espaçadas 0,50 m, marca Industrial KF®, modelo Hyper Plus, equipada com disco liso para o corte da palha e sulcador de fertilizante tipo haste, composta por três aivecas responsáveis pela formação dos camalhões, sendo cada um composto por duas linhas de cultivo posicionadas na borda de cada elevação.

As variáveis avaliadas nas plantas foram: população inicial; estatura de plantas; massa seca da parte aérea e raiz; área foliar; número, viabilidade e massa seca de nódulos; abundância relativa de ureídeos e rendimento de grãos. A população inicial foi determinada através da contagem das plântulas emergidas em dois metros lineares previamente demarcados na segunda linha de cada unidade experimental e após convertido para plantas  $m^{-2}$ . As demais avaliações foram realizadas nos estádios V6 e R5, coletando-se um monólito de solo de 40 x 40 x 20 cm (comprimento, largura e profundidade) com cinco plantas em sequência na linha de cultivo. A determinação da estatura foi realizada posteriormente à coleta com régua graduada, em laboratório. Para avaliação da área foliar, os trifólios de três plantas foram destacados, medindo-se o comprimento e a maior largura do folíolo central, após calculou-se a área foliar (RICHTER et al. 2014). Em seguida calculou-se o IAF conforme Radin et al. (2003). Após as avaliações citadas, a parte aérea das plantas foi seca em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65°C até massa constante. Para análise da nodulação as raízes foram lavadas em água corrente e levadas para laboratório, onde se contou o número de nódulos  $\geq 2\text{ mm}$  por planta, a viabilidade e massa seca dos nódulos e raiz. Para a viabilidade dos nódulos, os mesmos foram seccionados ao meio com estilete considerando-se não viável aquele nódulo que não apresentou

coloração interna rósea (VIEIRA NETO et al. 2008), sendo os resultados expressos em percentagem.

Para determinação da abundância relativa de ureídeos, foram analisados o teor de ureídeos (N-ureídeos) e nitrato (N-nitrato) no caule e nas folhas das plantas de soja com base nos procedimentos descritos no manual de métodos para estudos em microbiologia agrícola (EMBRAPA 1994). A abundância relativa de ureídeos (%ARU) é obtida através da relação:

$$\%ARU = [ (N\text{-ureído}) / (N\text{-ureído} + N\text{-nitrato}) ] \times 100 \quad (1)$$

onde: N-ureído é o teor de ureídeos e N-nitrato é o teor de nitrato.

O rendimento de grãos foi determinado somente no segundo cultivo de soja, através da colheita manual em área útil de 4 m<sup>2</sup>, expresso com base em 13% de umidade.

A partir do dia 29 de dezembro de 2015 (estádio V2) até a colheita da soja foi monitorada a umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ) com auxílio de sondas FDR (marca Campbell Scientific, modelo CS-616) acoplados a um data logger (marca Campbell Scientific, modelo CR1000). Estes sensores foram alocados diagonalmente na linha de semeadura, em um ângulo aproximado de 40° representando a camada de 0-0,15 m. Foram feitas verificações a campo e a estimativa de conteúdo de água foi bem próxima do conteúdo de água medido com coleta de amostras de solo.

O crescimento e a produção da cultura foram relacionados com a frequência dos índices indicadores de DH e DO. Os índices foram calculados por meio da função empírica de Feddes et al. (1978). A função relaciona a tensão da água no solo ( $\psi$ ) com a taxa de transpiração ( $\lambda$ ), que é definida pela relação da transpiração real ( $T_a$ ) com a transpiração potencial ( $T_p$ ), isto é,  $\lambda = T_a/T_p$ . Quando  $\lambda = 0$  o estresse é máximo (cessa o crescimento) e quando  $\lambda = 1$  o estresse é nulo (as condições para o crescimento são ótimas e as plantas se encontram com os estômatos abertos). Neste estudo, não se utilizou tensão, mas valores de conteúdos de água ( $\theta$ ) (MÜLLER 2015), correspondentes às diferentes  $\psi$ , e os  $\theta$  foram definidos com base em critérios de solo. Assim, o conteúdo de água na saturação ( $\theta_s$ ) corresponde a porosidade total do solo, o conteúdo de água para uma porosidade de aeração ( $\theta_{ar}$ ) foi de 0,1 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> ( $\theta_{ar} = \theta_s - 0,1$ ), o conteúdo de água na condição de 60% da capacidade de campo ( $\theta_{fd}$ ), que é uma aproximação para o que seria um valor de água no solo quando inicia o fechamento estomático da soja (SINCLAIR e LUDLOW 1986), e o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) foi calculado em função do teor de argila, usando a equação (KLEIN et al. 2010):

$$\theta_{pmp} \text{ (g g}^{-1}\text{)} = 0,0003 * \text{Argila (g kg}^{-1}\text{)} + 0,0118$$

Os valores de  $\lambda$  para a condição de DO ( $\lambda_{DO}$ ) e DH ( $\lambda_{DH}$ ) foram calculados pelas equações:

$$\lambda_{DO} = (\theta_{ar} - \theta_s) / (\theta - \theta_s) \quad (2)$$

$$\lambda_{DH} = (\theta - \theta_{pmp}) / (\theta_{fd} - \theta_{pmp}) \quad (3)$$

Com isso, foi confeccionado um gráfico para a análise da permanência e intensidade da DH e DO, dividido em classes, quando a deficiência estiver entre 0-0,5 o estresse é mais intenso, quando estiver entre 0,5-1 o estresse é menos intenso. Foi realizada uma caracterização da resistência a penetração de raízes na linha de semeadura dos preparos do solo, na camada de 0,0-0,3 m, através da utilização de um penetrômetro digital, modelo PLG 1020. Os valores de precipitação pluvial para o experimento foram obtidos da Estação Meteorológica Automática do 8º Disme/Inmet, localizada no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do experimento.

Os resultados obtidos foram submetidos aos testes das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância dos dados do experimento foi realizada pelo teste F, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores estudados para população inicial de plantas (Tabela 1). Observou-se que na semeadura sobre os preparos realizados no ano de 2014 (ES<sub>14</sub> e CA<sub>14</sub>), onde não houve mobilização da palha do azevém antes da semeadura da safra 2015, a população de plantas foi menor quando comparado aos preparos realizados em 2015 que ao serem aplicados mobilizaram a palha. A palha não mobilizada conferiu ao solo maior conteúdo de água no momento da semeadura (Figura 1b), pois dificulta a perda de umidade quando há uma quantidade excessiva de resíduos sobre o solo (CORREIA et al. 2013). A redução da população de plantas também foi encontrada por Ferreira et al. (2015) com a dessecação realizada 30 dias antes da semeadura de arroz irrigado. Observou-se também que o maior conteúdo de água no solo, juntamente com o mecanismo de deposição da semente do tipo disco duplo utilizado nos preparos de 2014, contribuiriam para que houvesse um espelhamento no sulco de semeadura, não completando assim o processo de fechamento do mesmo, não proporcionando o correto contato semente-solo, ocasionando menor população de plantas.

Para as demais variáveis analisadas não houve interação entre os fatores, havendo somente diferenças entre os preparos ou entre as coberturas no inverno. Apesar de ambos

fatores não terem diferido entre si para a variável estatura de plantas nos estádios V6 e R5 (Tabela 2), em números absolutos observou-se que as plantas dos sistemas de implantação realizados no ano de 2015 (ES<sub>15</sub> e CA<sub>15</sub>) apresentaram maior estatura. No estádio V6, para massa seca de parte aérea, índice de área foliar e massa seca de raiz, os maiores valores dessas variáveis foram observados no camalhão confeccionado no momento da semeadura em 2015 (CA<sub>15</sub>) e na escarificação realizada em 2015 (ES<sub>15</sub>) (Tabela 2). Esse melhor desempenho desses preparos é referente a recente mobilização do solo facilitar a drenagem da área, pois no caso do camalhão proporciona um ambiente acima do nível do solo onde ocorreu o excesso hídrico e a escarificação pelo fato de aumentar a macroporosidade facilitando a drenagem do perfil do solo (Sartori, et al., 2015). Ainda, a precipitação pluvial acumulada foi significativa (Figura 1c), além dos preparos terem apresentado menor resistência à penetração até aproximadamente 9 cm de profundidade (Figura 1d), referente ao mecanismo de deposição de adubo do tipo haste sulcadora e da profundidade de atuação das hastes do ecarificador. No estádio R5, os sistemas de implantação ES<sub>15</sub> e CA<sub>15</sub> proporcionaram maior massa seca da parte aérea, índice de área foliar e massa seca de raiz comparados aos sistemas ES<sub>14</sub> e CA<sub>14</sub>, não diferindo para os manejos de solo durante o inverno (Tabela 2).

Em relação à nodulação de plantas (Tabela 3), no estádio V6, observou-se que a massa seca de nódulos por planta (MSNP) foi superior no camalhão confeccionado em 2015, não diferindo no número de nódulos por planta (NNP) da escarificação realizada em 2015. O menor número de nódulos foi observado na escarificação realizada em 2014 não diferindo do camalhão confeccionado em 2014. A viabilidade dos nódulos (VN) em V6 manteve-se próxima ou igual a 100% em todos os fatores. No estádio R5 não houve diferença significativa para o número de nódulos por planta e viabilidade de nódulos para os preparos e coberturas do solo, porém houve maior massa seca de nódulos nos preparos que foram realizados próximos à semeadura (CA<sub>15</sub> e ES<sub>15</sub>), onde, mesmo não diferindo dos demais preparos, o número de nódulos e viabilidade foi maior.

A abundância relativa de ureídeos (ARU) em V6 foi maior no CA<sub>15</sub>, não diferindo estatisticamente de CA<sub>14</sub> e ES<sub>15</sub>. Em relação à cobertura do solo a ARU foi maior onde havia azevém, o que pode estar relacionado à cobertura do solo promover melhores condições para a sobrevivência dos microrganismos, garantindo maiores populações de *Bradyrhizobium* spp. capazes de formar simbioses eficientes com a cultura da soja nesse estádio inicial de desenvolvimento (Ferreira et al. 2000). Nos sistemas de implantação em R5 a ARU foi maior no camalhão confeccionado em 2015 e na escarificação realizada em 2015, sendo os menores

valores encontrados para o camalhão confeccionado em 2014. Os ureídios, formados pelo ácido alantóico e alantoína, são compostos derivados primariamente do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), são produzidos nos nódulos e exportados para a parte aérea das plantas de soja. Portanto, a magnitude da FBN tem sido relacionada diretamente com a abundância desses compostos na seiva do xilema ou no tecido de plantas de soja (SERRAJ et al. 1999; KING et al. 2014). A FBN é dependente do oxigênio disponível no solo, portanto é importante optar por um sistema de implantação que irá conferir maior aeração na zona radicular, podendo ser identificados por índices de deficiência.

Os resultados referentes aos índices de deficiência hídrica (DH) e deficiência de oxigênio (DO) (Figura 1a) estão representados através de duas classes:  $\lambda$  0-0,5, onde a intensidade do estresse é maior, e  $\lambda$  0,5-1 onde o estresse é menos intenso. Valores de  $\lambda$  iguais a 1 o solo apresentou condições ótimas de disponibilidade de água e oxigênio na camada de 0-0,15 m. Entre os índices, para o fator cobertura, azevém e pousio, não se observou diferença.

Conforme o índice de DH, as plantas de soja permaneceram sob efeito de déficit hídrico durante um período menor que 10% de seu ciclo de desenvolvimento nos preparos onde realizou-se a escarificação do solo (ES<sub>14</sub> e ES<sub>15</sub>), não sendo observada a ocorrência desse estresse nos demais preparos. Ainda se observou que, quando ocorreram, a permanência e a intensidade de DH foi de forma menos intensa ( $\lambda$  0,5-1), sendo menor em ES<sub>14</sub> e maior em ES<sub>15</sub>. Já a permanência em deficiência de oxigênio, juntando-se as duas classes, foi de 60, 43, 36 e 21%, para os preparos CA<sub>14</sub>, ES<sub>14</sub>, CA<sub>15</sub> e ES<sub>15</sub>, respectivamente. Em todos os preparos o índice de DO atingiu o limite máximo ( $\lambda_{DO} = 0$ ), o que está relacionado à ocorrência de elevada precipitação pluvial no final de dezembro e em março e abril (Figura 1c), períodos em que o solo atingiu seu conteúdo de água na saturação ( $\theta_s$ ). Decorrente da permanência em DH e DO, a condição ótima ( $\lambda=1$ ) foi de aproximadamente 40, 55, 64 e 74%, para os preparos CA<sub>14</sub>, ES<sub>14</sub>, CA<sub>15</sub> e ES<sub>15</sub> respectivamente. Esses resultados se relacionam claramente com os parâmetros analisados nas plantas no período de enchimento de grãos (R5), sendo os preparos que proporcionaram melhores condições de disponibilidade de água (CA<sub>15</sub> e ES<sub>15</sub>) na região de crescimento radicular, os mesmos que apresentaram maior nodulação, abundância relativa de ureídios, índice de área foliar e massa seca de parte aérea e raiz.

Com base nos resultados de DH e DO supracitados, verificou-se que a escarificação realizada no ano de 2015 (ES<sub>15</sub>) modificou a condição estrutural de retenção e fluxo de água no solo favorecendo a ocorrência de DH, pois a mesma aumenta a porosidade total e macroporosidade (SARTORI et al. 2015), porém o aumento de macroporos reflete em maior condutividade hidráulica e menor retenção de água no solo, que em situações de pouca

precipitação, como ocorreu no mês de janeiro (Figura 1c), favorece a DH. Ainda, a ES<sub>15</sub> diminuiu a ocorrência de DO quando comparado aos tratamentos CA<sub>14</sub>, ES<sub>14</sub> e CA<sub>15</sub>.

A formação do camalhão em 2015 (CA<sub>15</sub>) não obteve a eficiência observada no preparo ES<sub>15</sub> em diminuir a DO, porém, esse estresse, quando ocorreu, foi classificado como de menor intensidade ( $\lambda$  0,5-1) (Figura 1A). Esses resultados podem estar relacionados ao fato da escarificação drenar o perfil do solo em maior profundidade, enquanto que a drenagem no camalhão ocorre superficialmente através dos sulcos formados pela sua confecção e ainda os mesmos já estavam mais rasos no camalhão construído em 2014. Comparando-se os preparos com camalhão, CA<sub>15</sub> com CA<sub>14</sub>, àquele formado em 2014 apresentou maior permanência em DO, o que pode ser atrelado à reconsolidação do solo e maior resistência à penetração (Figura 1d), pois CA<sub>15</sub> era mais elevado que CA<sub>14</sub>, realizado no ano anterior. A maior permanência em DO no preparo CA<sub>14</sub> ainda pode ser relacionado ao mecanismo de deposição de sementes utilizado nesse tratamento, que foi o disco duplo, diferentemente do CA<sub>15</sub> que foi confeccionado com o mecanismo de deposição de adubo do tipo haste sulcadora, o que favorece a infiltração de água na linha de semeadura.

Conforme dados apresentados na Figura 1e, o rendimento de grãos de soja diferiu entre os preparos de solo e também entre as coberturas de solo. Em relação às coberturas, com a utilização do azevém o rendimento observado foi menor que o observado para o pousio constatando-se que essa redução se deve à baixa população de plantas nas parcelas semeadas sobre azevém, sem mobilização de palha (Tabela 1).

Os preparos aplicados em 2015 apresentaram maior rendimento de grãos de soja quando comparados aos aplicados em 2014, relacionando-se, assim com os índices de DO, que mostram que onde ocorreu menor permanência das plantas em DO, encontrou-se maior rendimento. A redução do conteúdo de oxigênio do solo inviabiliza a respiração das raízes e ainda a atividade da nitrogenase, enzima que é altamente dependente da quantidade de oxigênio (JUSTINO e SODEK 2013). Em concordância com a alternativa anterior, observou-se que nos preparos em que ocorreu menor DO a massa seca de nódulos e abundância relativa de ureídeos em R5 foi maior, favorecendo a fixação biológica de nitrogênio. Conforme Brandelero et al. (2009) a nodulação é um fator determinante no rendimento de grãos e está correlacionada a 40% desse parâmetro. De modo geral, o camalhão confeccionado no momento da semeadura e a escarificação realizada próxima a mesma, conferem um maior rendimento de grãos de soja em relação aos preparos realizados anteriormente devido à menor permanência em estresse por falta de oxigênio.

## CONCLUSÕES

A confecção de camalhão e escarificação próximos a semeadura proporcionam menor ocorrência de deficiência de oxigênio e maior nodulação, resultando em maior rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado.

O nível de palha de azevém remanecente de 3900 kg ha<sup>-1</sup> verificado no presente trabalho reduz a população inicial de plantas de soja.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDELERO, E.M., PEIXOTO, C.P., AND RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, 30, 581-588, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e SC**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004.

CORREIA, S. L.et al. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(2), 512-520, 2013.

DRESCHER, M. S.et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(2), 159-168, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia do solo**. Brasília-DF: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013.

FANTE, C. A. et al. Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios. **Bragantia**, 69(2), 253-261, 2010.

FEDDES, R. A., KOWALIK, P. J., AND ZARADNY, H. **Simulation of field water use and crop yield. Simulation monographs**. New York: John Wiley & Sons. 1978.

FEHR, W. R., AND CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 1977.

FERREIRA, M. C. et al. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. **Soil Biology and Biochemistry**, 32, 627–637, 2000.

FERREIRA, R. B. et al. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, 45(12), 2143-2149, 2015.

GIACOMELI, R. et al. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51, 261-270, 2016.

GOMES, A. da S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2006.

GUBIANI, P.I., REICHERT, J.M., AND REINERT, D.J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, 37, 1 - 10, 2013.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Soja em Rotação com Arroz**. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>, acesso em 3 de novembro de 2016.

JUSTINO, G.C., AND SODEK, L. Recovery of nitrogen fixation after short-term flooding of the nodulated root system of soybean. **Journal of Plant Physiology**, 170, 235-241, 2012.

KING, A. et al. A possible relationship between shoot N concentration and the sensitivity of N<sub>2</sub> fixation to drought in soybean. **Crop Science**, 54, 746-756, 2014.

KLEIN, V. A. et al. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciencia Rural**, 40, 1550-1556, 2010.

KOKUBUN, M. Genetic and cultural improvement of soybean for waterlogged conditions in Asia. **Field Crops Research**, 152, 3-7, 2013.

LANZA, L. M. N., ROSSI, S. C., AND SODEK, L. Adubação nitrogenada beneficia soja alagada. **Bragantia**, 72, 2-9, 2013.

MISSIO, E. L. et al. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, 16, 23-29, 2010.

MÜLLER, E. A. **Capacidade de preparos de solo reduzirem limitações físicas naturais de áreas de várzea para o cultivo de soja**. 2015, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

NICOLOSO, R. DA. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 1723-1734, 2008.

PEDROTTI, A. et al. Evaluation of bulk density of Albaqualf soil under different tillage systems using the volumetric ring and computerized tomography methods. **Soil and Tillage Research**, 80, 115-123, 2005.

RADIN, B. et al. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38, 1017-1023, 2003.

RICHTER, G. L. et al. Estimating leaf area of modern soybean cultivars by a non destructive method. **Bragantia**, 73, 416-425, 2014.

RHINE, M. D. et al. Yield and nutritional responses to waterlogging of soybean Cultivars. **Irrigation Science**, 28, 135-142, 2010.

RODRIGUES, F. A. **Avaliação de sistemas de implantação de soja em áreas típicas de cultivo de arroz irrigado**. 2015, 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

SARTORI, G. M. S. et al. Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50, 1139-1149, 2015.

SERRAJ, R., SINCLAIR, T. R., AND PURCELL, L. C. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. **Journal of Experimental Botany**, 50, 143–155, 1999.

SINCLAIR, T. R., AND LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, 13, 329-340, 1986.

VAN TOAI, T. T., AND BEUERLEIN, J. E. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, 34, 1112-1115, 1994.

VIEIRA NETO, S. A. et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 32, 861-870, 2008.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine max* L)**. 2014. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2014.

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, 891-900, 2004.

**Tabela 1.** População inicial de plantas de soja em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016.

Preparo	População inicial de plantas (plantas m <sup>-2</sup> )		Média
	Pousio	Azevém	
ES <sub>14</sub>	26,5 Aa*	20,3 Bb	23,4
ES <sub>15</sub>	27,0 Aa	25,0 ABa	26,0
CA <sub>14</sub>	23,5 Aa	19,5 Ba	21,5
CA <sub>15</sub>	25,3 Aa	27,8 Aa	26,5
Média	25,6	23,56	24,3
CV (%)			11,9

ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; \* Médias não seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 2.** Estatura de planta (E), massa seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e massa seca da raiz (MSR), na cultura da soja, nos estádios V6 e R5, em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016.

Preparo	E		MSPA		IAF		MSR	
	(cm)		(g.planta <sup>-1</sup> )		(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )		(g.planta <sup>-1</sup> )	
	V6	R5	V6	R5	V6	R5	V6	R5
ES <sub>14</sub>	22,4 <sup>ns</sup>	85,7 <sup>ns</sup>	1,6 b*	30,3b	0,63ab	6,2b	0,38b	2,7b
ES <sub>15</sub>	23,3	87,5	2,0ab	39,0a	0,66ab	7,2a	0,47b	3,4a
CA <sub>14</sub>	21,9	86,4	1,6 b	28,7b	0,54b	5,3c	0,40b	2,5b
CA <sub>15</sub>	23,9	92,7	2,5 a	36,4a	0,88a	7,4a	0,77a	3,5a
Cobertura inverno								
Pousio	23,4 <sup>ns</sup>	87,7 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	34,3 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	6,6 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>
Azevém	22,3	88,5	1,9	32,9	0,69	6,5	0,48	3,1
Média	22,9	88,1	1,9	33,6	0,68	6,5	0,50	3,0
CV (%)	10	6,1	16,9	15	13,6	10,7	20,9	8,8

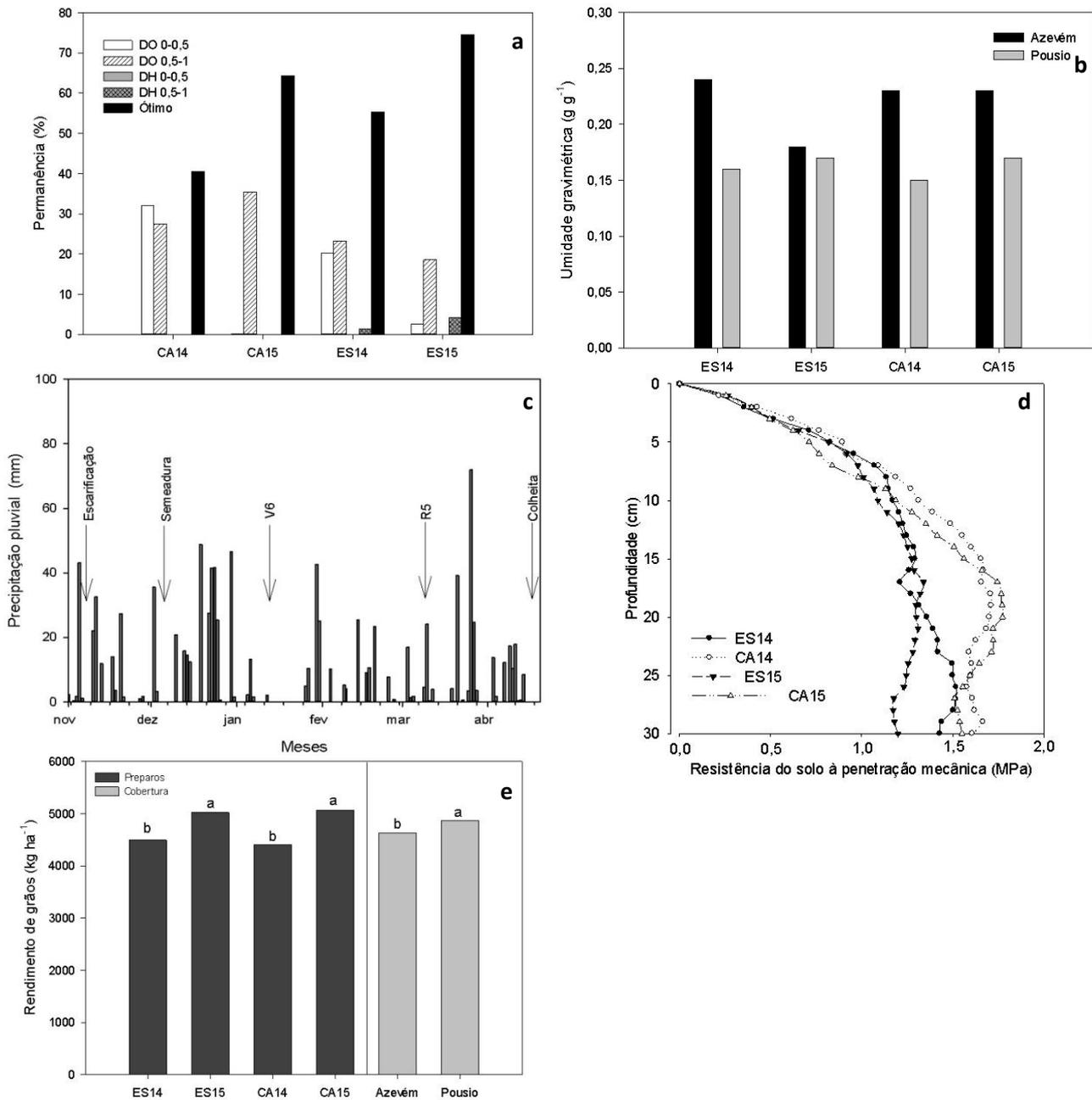
ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; <sup>ns</sup> Não significativo na coluna; \* Médias não seguidas da mesma minúscula na coluna diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 3.** Número de nódulos por planta (NNP), viabilidade dos nódulos (VN), massa seca de nódulos por planta (MSNP) e abundância relativa de ureídeos (ARU), na cultura da soja, nos estádios V6 e R5, em função dos sistemas de implantação e cobertura durante o inverno. Santa Maria, RS, 2016.

Preparo	NNP		VN		MSNP		ARU	
			(% )		(mg.planta <sup>-1</sup> )		(% )	
	V6	R5	V6	R5	V6	R5	V6	R5
ES <sub>14</sub>	25,2c	95,6 <sup>ns</sup>	100 <sup>ns</sup>	87,9 <sup>ns</sup>	116,5b	590,7b	21,8b	61,9bc
ES <sub>15</sub>	33,0ab	107,1	99,7	89,3	141,6b	711,1a	24,6ab	64,7ab
CA <sub>14</sub>	28,3bc	88,2	100	83,9	131,5b	575,3b	25,6ab	60,6c
CA <sub>15</sub>	36,5a	106,1	99,6	90,6	209,6a	740,1a	33,2a	67,8a
Cobertura de inverno								
Pousio	30,7 <sup>ns</sup>	103,5 <sup>ns</sup>	99,7 <sup>ns</sup>	90,2 <sup>ns</sup>	150,1 <sup>ns</sup>	708 <sup>ns</sup>	25,2b	64,6 <sup>ns</sup>
Azevém	30,8	94,8	99,9	85,8	149,5	600,6	27,5a	62,9
Média	30,8	99,2	99,8	87,9	149,8	654,3	26,3	63,7
CV (%)	20,8	15,6	0,47	6,2	27,5	18,6	20	6,1

ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015; <sup>ns</sup> Não significativo na coluna; \* Médias não seguidas da mesma minúscula na coluna diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Figura 1.** Índices de deficiência hídrica e deficiência de oxigênio (a), umidade gravimétrica no momento da semeadura (b), precipitação pluviométrica (c) e resistência do solo à penetração mecânica (umidade volumétrica:  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (d), rendimento de grãos de soja, cultivar BMX Valente (e). Santa Maria, RS, 2016.



ES<sub>14</sub>: escarificação do solo em novembro/2014 a 0,25; ES<sub>15</sub>: escarificação do solo em novembro/2015; CA<sub>14</sub>: camalhão construído em novembro/2014; CA<sub>15</sub>: camalhão construído em novembro/2015. \* Médias não seguidas da mesma minúscula nas barras diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

## 4 DISCUSSÃO

Para o cultivo de culturas de sequeiro, como exemplo da soja, em áreas de arroz é necessário que se adapte um sistema favorável para o desenvolvimento das plantas, devido as características desse tipo de solo. O principal problema dessas áreas é a presença de uma camada compactada próxima da superfície do solo, o que conseqüentemente causa outro problema, a deficiência da drenagem dessas áreas. Quando há ocorrência frequente de chuvas o solo é saturado rapidamente pelo fato da compactação diminuir o número de macroporos do solo, os quais são responsáveis pela aeração e condução de água do perfil do solo. O alagamento do solo confere falta de oxigênio para respiração das raízes do solo, podendo prejudicar o rendimento dependendo do estágio fenológico e do tempo de duração desse estresse. A nodulação também é afetada pela falta do oxigênio, pois as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, as quais são responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio nas raízes, são altamente dependentes do oxigênio.

Quando são utilizados preparos com escarificação do solo e uso de mecanismo na semeadura como a haste sulcadora, seja ela utilizada de forma isolada na semeadora ou associada ao sistema em camalhão os estresses nas plantas ocorrem em menor proporção pelas melhorias das características físicas do solo. Entretanto a utilização dessas práticas deve ser limitada, pois requer elevado consumo energético, investimento em equipamentos e mudanças no sistema de cultivo, sendo que os custos aumentam proporcionalmente à profundidade da camada compactada, os benefícios dependem da textura do solo, profundidade e da frequência da operação. Para que seja possível não realizar essas operações em cada safra dependerá das condições que esse solo é exposto no período entressafras. A utilização de plantas de cobertura cultivadas durante o período de inverno são uma alternativa para proteger o solo de agentes externos, havendo a possibilidade de conferir maior estabilidade ao solo após realização do preparo, porém em apenas um ano de cultivo não é claro esse comportamento, sendo necessário mais anos de cultivo. Ainda como os solos de áreas de arroz retém maior quantidade de água devido a presença de maior quantidade de microporos, as plantas de cobertura fazem com que o solo perca umidade lentamente. Dessa forma, faz-se necessário um período maior de tempo para secagem do solo comparado com um solo mantido em pousio, podendo interferir no momento da semeadura quando o período entre chuvas é pequeno. Quando a semeadura for realizada com a umidade do solo muito alta, há problemas com a deposição das sementes e fechamento da linha de cultivo, interferindo na população inicial de plantas. Portanto, quando

se optar pelo uso de plantas de cobertura no período do inverno, há necessidade de ter controle da quantidade de massa seca que ela irá produzir para não prejudicar o estabelecimento inicial das culturas seguintes.

Dependendo das condições que a escarificação for exposta após sua aplicação ela pode manter seus benefícios de reduzir a densidade e resistência à penetração de raízes e aumentar a porosidade total por no mínimo 18 meses. Ainda que a condutividade hidráulica passe a reduzir ao longo do tempo ela se mantém maior que a condição natural para uma segunda safra. A escarificação confere menor tempo em deficiência por oxigênio, favorecendo o desenvolvimento da planta e nodulação. Além disso, o rendimento de grãos não é alterado significativamente quando a escarificação é utilizada para uma segunda safra, sendo conveniente levar em consideração os gastos para escarificar a área novamente, pois para tal operação o consumo de combustível é elevado e requer elevada potência dos tratores.

A utilização do camalhão que tem tanto a função de drenar a área como possibilitar irrigação em caro de déficit hídrico, também dependente do manejo adotado após a safra pode ser reutilizado, pois há acomodação das partículas do solo ocasionando rebaixamento do camalhão e obstrução dos sulcos de drenagem. Ainda quando utilizado para uma segunda safra confere maior tempo em deficiência por oxigênio, afetando a nodulação, crescimento e desenvolvimento da soja e por consequência reduz o rendimento de grãos. Nesse caso foi utilizado como mecanismo de deposição das sementes o disco duplo, há necessidade de se testar a utilização da haste sulcadora como mecanismo, pois a mesma movimentada o solo na linha da semeadura em maior profundidade que o disco duplo. Ainda para sua reutilização deve-se considerar a profundidade do sulco formado no momento de construção do camalhão, pois quanto mais profundo maior as chances de ele se manter eficiente para drenagem, o que define também a profundidade desse sulco é o tipo de solo, dependendo de suas características a erosão ocorre em menor tempo. Além disso, para que os sulcos se tornem eficientes em drenagem é necessário que a área seja sistematizada em declive e também que se realize a colheita em condições mais secas para se reduzir ao máximo as chances de destruir o camalhão.

Quando o camalhão é confeccionado no momento da semeadura ele se torna uma alternativa para anos chuvosos principalmente na fase de estabelecimento inicial da cultura, pois sua recém mobilização confere maior aeração, conferindo estande de plantas adequado, menor tempo em deficiência por oxigênio e rendimento de grãos elevado.

Em vista do exposto, os resultados obtidos no presente trabalho evidenciam a importância da adoção de sistemas de implantação que auxiliam na drenagem da área para expressão do máximo potencial produtivo da cultura da soja em áreas de arroz irrigado.

## 5 CONCLUSÕES

Mudanças na densidade, porosidade total e resistência a penetração em Planossolos, promovidas pela escarificação mecânica, são perceptíveis por no mínimo 18 meses. A permanência dessas modificações reflete no rendimento de grãos de soja para uma segunda safra. A confecção de camalhão e escarificação próximos a semeadura proporcionam menor ocorrência de deficiência de oxigênio e maior nodulação, resultando em maior rendimento de grãos de soja em área de arroz irrigado.

Não foi detectado o efeito de plantas de cobertura, azevém, aveia e trigo, em um único ano de cultivo, na manutenção dos atributos físicos do solo e no rendimento de grãos de soja. O nível de palha de azevém remanente de 3900 kg ha<sup>-1</sup> verificado no presente trabalho reduz a população inicial de plantas de soja.

## REFERÊNCIAS

- BAMBERG, A.L. et al. Densidade de um planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n.5, p.1079-1086, 2009.
- BEKERE, W. et al. Growth and nodulation response of soybean (*Glycine max* L.) to lime, Bradyrhizobium japonicum and nitrogen fertilizer in acid soil at Melko, South Western Ethiopia. **International Journal of Soil Science**, v.8, n.1, p.25-31, 2013.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. & SILVA, A.P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.48, n.6, Nov. p.863-871, 2005.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006.
- BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 30, n. 3, p. 581 -588, 2009.
- CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. São Paulo – Nobel, 4. ed., 1989.
- DA ROSA, D.P. et al. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.395-400, 2008.
- DRESCHER, M. S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011.
- DRESCHER, M. S. et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, Feb. 2016.
- FLECK, N. G. et al. Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 101 -111, 2008.
- GIACOMELI, R. et al . Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 3, p. 261-270, mar. 2016.
- GOMES, A.S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169).
- KOAKOSKI, A. et al. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.725-731, 2007.

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

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Soja em Rotação com Arroz**. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>, acesso em 3 de novembro de 2016.

LIMA, C. L. R. et al. **Estabilidade de agregados de um planossolo sob sistemas de manejo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 27, n. 1, p. 199-205, 2003.

LIN, M.G. et al. Systemic Regulation of Soybean Nodulation by Acidic Growth Conditions. *Plant Physiology*, v.160, n.4, p.2028-2039, 2012.

MANZKE, E.M.; MORAES, C.L.; NEBEL, Á. Água disponível em solos de terras baixas da região sul do RS. *Anais. XX Congresso de Iniciação Científica. III Amostra Científica*. 2011.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8, 2013, Santa Maria, Anais...Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. p. 1628-1637.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización**. B&H Grupo Editorial. 2001 . 495p.

MISSIO, E. L. et al. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.16, n.1 e 2, p.23-29, 2010.

MENEZES, V. G et al. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. *Planta daninha*. v. 27, n. spe, Dec. 2009.

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

MUNARETO, J. D. et al. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.12, p.1499-1506, 2010.

NASCIMENTO JUNIOR, V. C. do; PRETE, C. E. C.; NOGUEIRA, M. A. Biological nitrogen fixation in soybean under water restriction and exposed to 1-methylcyclopropene. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 7, p. 818-823, 2016.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NOGUEIRA, P. D. M. et al. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. *Global Science and Technology*, v.3, n.2, p.117 – 124, 2010.

NUNES, M. R. et al. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.7, p.531 -539, 2014a.

NUNES, M. R. et al. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 627-638, 2014b.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E.A. **Solos de várzea no Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75- 95.

PIRES, J. L. F. et al. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.1, p.41 -50, 2002.

PRADO, R. P. et al. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2002.

REIS, E. F. et al. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.3, 212- 221, 2004.

RIBEIRO, P. L. et al. Condições físico-hídricas de Planossolo cultivado com soja em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1484-1491, 2016.

RODRIGUES, J. et al. Eficiência do uso de água e rendimento de grãos na cultura do milho em área de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8. 2013, Santa Maria, **Anais...** Sociedade Sil-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. P. 1628-1637.

RYLE, G.J. A. et al. The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, v.30, n.1, p.145-153, 1979.

SANTOS, F. M. et. al. Controle químico de arroz vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 405-412, 2007.

SARTORI, G. M. S. et al. Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, dez. 2015

SATO, J. H. et al. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.189– 193, 2012.

SCOTT, H. D. et al., Flood Duration effects on soybean growth and yueld. In: *AgronomyJournal*, v.81, p.631 -636. 1989.

SCHOENFELD, R. **Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão à plantas de cobertura em Planossolo Háplico**. 2011 . 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SICZEK, A., LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil and Tillage Research**, v.114, n.1, p.50-56, 2011.

SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van., eds. **Soil compaction in crop production**. Netherlands. Elsevier, 1994. p. 1 -21.

THOMAS, A. L. et al. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, n.1, p.107-112, 2000.

VALICHESKI, R. R. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.969–977, 2012.

VERUSCHKA, R. M. et al. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.768-776, 2006.

ZHANG, X. et al. Effects of raised-bed planting for enhanced summer maize yield on rhizosphere soil microbial functional groups and enzyme activity in Henan Province, China. **Field Crops Research**, v. 130, n. 3, p.28-37, 2012.



## APÊNDICE B – PROFUNDIDADE DE ATUAÇÃO DOS PREPAROS DO SOLO.



**7 cm – Camalhão 2014**



**22 cm – Camalhão 2015**



**30 cm – Escarificação 2015**



**25 cm – Escarificação 2014**