

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Alicia Baumhardt Dorneles

**DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA EM TERRAS
BAIXAS E SEUS IMPACTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

Cachoeira do Sul, RS
2022

Alicia Baumhardt Dorneles

**DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA EM TERRAS BAIXAS E SEUS
IMPACTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto

Cachoeira do Sul, RS
2022

Alicia Baumhardt Dorneles

**DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA EM TERRAS
BAIXAS E SEUS IMPACTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Aprovada em 08 de fevereiro de 2022.

Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto
(Presidente/Orientador)

Dra. Mara Grohs
(IRGA/Co-orientadora)

Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli
(Membro – UFScar)

Cachoeira do Sul, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos e a todas, que de alguma forma, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho, em especial, agradeço:

Aos meus pais **Carmem Lúcia Baumhardt** e **Milton Silveira Dorneles**, pelo amor, pela vida, educação e valores a mim ensinado. Mas em especial a minha mãe, por acreditar imensamente em minha capacidade, além do imenso carinho, palavras de amor e de incentivo constante.

Ao meu namorado, amigo e parceiro, **Rodrigo Araujo**, por todo apoio nos momentos difíceis, compreensão, paciência, carinho, incentivo e amor.

Ao professor, orientador, **Tiago Rodrigo Francetto**, pelo imenso auxílio, ensinamentos, paciência, conselhos e palavras de incentivo.

A co-orientadora **Mara Grohs**, por todo o conhecimento compartilhado, conselhos e principalmente pelas imensas oportunidades de crescimento e aprendizado.

Ao **IRGA (Instituto Rio Grandense do Arroz)**, pela oportunidade de estágio e apoio financeiro durante a realização desse trabalho. Como também gostaria de deixar um agradecimento especial ao coordenador **Pedro Haman** e aos demais funcionários do 4º NATE, pelos ensinamentos e momentos de alegria. Aos funcionários da Estação de pesquisa, **Luana Pinheiro, Juliana Moura, Adriano Correa, Lucas e Mauricio**, pelo imenso apoio e auxílio durante as coletas e condução deste trabalho, assim como pelos momentos de descontração e muita diversão.

Aos amigos e ex-colegas de estágio **Endiele Lopes** e **Bruno Lovato**, pela ajuda nas coletas, parceria e apoio.

A minha colega de apartamento e amiga **Eduarda Yumi**, pela imensa ajuda nas coletas, pela parceria, além das palavras de conforto e incentivo.

Ao grupo de pesquisa **IRGEB** (Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Biogeoquímica Ambiental), pelo auxílio nas coletas e processamento das amostras.

A **Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul** e aos **professores** que tive a oportunidade de ser aluna durante o curso de Engenharia Agrícola, pelo ensino gratuito e de qualidade, e por proporcionar minha formação acadêmica.

A todos, meu **MUITO OBRIGADA!**

“Nem tudo está perdido, sempre há esperança, apesar de tudo, ou ainda, havendo vida, há o que se buscar, conquistar, guerrear, lutar pelo objetivo.

- Marcio Nassif

RESUMO

DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA EM TERRAS BAIXAS E SEUS IMPACTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

AUTORA: Alicia Baumhardt Dorneles
ORIENTADOR: Tiago Rodrigo Francetto

Nos solos de terras baixas, normalmente cultivados com arroz irrigado, existe a presença de camadas subsuperficiais compactadas, que restringem o desenvolvimento das raízes de outras culturas de sequeiro, limitando a exploração de nutrientes e água do solo. Nesse sentido, o objetivo geral, foi o determinar o efeito da descompactação mecânica do solo, por meio da escarificação, associado a descompactação biológica, com a implantação de uma cobertura de solo na entressafra, sobre a resistência à penetração, porosidade (micro e macroporosidade) e densidade do solo, antecedente à semeadura de culturas de sequeiro. O experimento foi conduzido na entressafra de 2021/22, na Estação Regional de Pesquisa do IRGA, em Cachoeira do Sul – RS. Foi composto pela interação de três fatores, sendo eles: preparo do solo (Fator 1, escarificação e não escarificação), cobertura do solo (Fator 2, aveia, azevém, azevém e aveia, azevém e trevo persa, pousio e trevo persa) e por diferentes camadas do solo (Fator 3, 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,25 m). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. A escarificação foi realizada com um escarificador de cinco hastes parabólicas, regulado com uma profundidade de trabalho de 0,25 m, no dia 9/04/2021. A semeadura das plantas de cobertura foi em linha, no dia 23/04/2021. A dessecação da área foi realizada dia 24/09/2021 e após 41 dias, foi determinada a resistência à penetração do solo (RP), juntamente com a umidade gravimétrica e realizado a coleta de amostras de solo com estrutura preservada, para determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. A descompactação mecânica do solo e biológica reduziram em 42,95 % os valores de resistência à penetração. Em todas as camadas estudadas, exceto na camada de 0 a 5, houve redução da RP com o manejo da escarificação. Sendo as culturas do azevém solteiro e em consórcio com trevo persa, com melhor desempenho em reduzir essa variável. A aveia, independente da mobilização ou não do solo, reduziu o valor de densidade e aumentou a porosidade total do solo. Em relação a microporosidade, reduções significativas foram encontradas na primeira camada, na área escarificada juntamente com o consórcio azevém e aveia. O trevo persa foi o tratamento que proporcionou maior macroporosidade no solo. A escarificação do solo foi responsável por aumentar a macroporosidade do solo até os 0,10 m.

Palavras-chave: engenharia agrícola, escarificação, plantas de cobertura, física do solo, planossolo.

ABSTRACT

MECHANICAL AND BIOLOGICAL DECOMPACTATION IN LOWLANDS AND ITS IMPACTS ON PHYSICAL SOIL ATTRIBUTES

AUTHOR: Alicia Baumhardt Dorneles

ADVISOR: Tiago Rodrigo Francetto

In lowland soils, normally cultivated with irrigated rice, there is the presence of compacted subsurface layers, which restrict the development of roots of other rainfed crops, limiting the exploitation of nutrients and water from the soil. In this sense, the general objective was to determine the effect of mechanical soil decompaction, through scarification, associated with biological decompaction, with the implementation of a soil cover in the off-season, on penetration resistance, porosity (micro and macroporosity) and soil density, antecedent to the sowing of rainfed crops. The experiment was conducted in the 2021/22 off-season, at the IRGA Regional Research Station, in Cachoeira do Sul - RS. It was composed by the interaction of three factors, namely: soil preparation (Factor 1, chiseling and non chiseling), soil cover (Factor 2, oats, ryegrass, ryegrass and oats, ryegrass and Persian clover, fallow and Persian clover) and by different soil layers (Factor 3, 0.00 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 to 0.15 and 0.15 to 0.25 m). The experimental design was randomized blocks, with four replications. Scarification was carried out with a five parabolic shank scarifier, set to a working depth of 0.25 m, on 04/9/2021. The sowing of cover crops was in line, on 04/23/2021. The desiccation of the area was carried out on 09/24/2021 and after 41 days, the resistance to soil penetration was determined, together with gravimetric moisture and the collection of soil samples with preserved structure was carried out, to determine the density, total porosity, macroporosity and microporosity. The soil mechanical and biological decompaction reduced the penetration resistance values by 42.95%. In all studied layers, except for layer 0 to 5, there was a reduction in PR with the management of chiseling. As single ryegrass and intercropped with Persian clover, with better performance in reducing this variable. Oat, regardless of soil mobilization or not, reduced the density value and increased the total soil porosity. Regarding microporosity, significant reductions were found in the first layer, in the scarified area together with the intercropped ryegrass and oat. The Persian clover was the treatment that provided greater macroporosity in the soil. Soil scarification was responsible for increasing soil macroporosity up to 0.10 m.

Keywords: agricultural engineering, scarification, cover crops, soil physics, flat soil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Tipo de hastes de escarificadores/subsoladores	16
FIGURA 2- Resistência à penetração média da área experimental em função da profundidade.....	20
FIGURA 3 – Imagem aérea do experimento (16/09/2021)	21
FIGURA 4 – Escarificador Kohler com cinco hastes parabólicas utilizado para a escarificação do solo.....	22
FIGURA 5- Temperatura máxima (°C) e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de execução do experimento. E- Escarificação (9/04/2021); S – Semeadura das plantas de cobertura (23/04/2021); D- Dessecação da área (24/09/2021); C- Coleta (04/11/2021).....	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Descrição dos fatores experimentais e seus respectivos níveis	20
TABELA 2 – Umidade gravimétrica média (Ug) em função de diferentes camadas do solo...	21
TABELA 3 – Análise estatística com as médias das variáveis estudadas e os resultados do teste F.....	25
TABELA 4- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do preparo do solo e cobertura do solo.....	26
TABELA 5- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do preparo do solo e diferentes camadas do solo.....	27
TABELA 6- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do uso de plantas de cobertura em diferentes camadas do solo.....	28
TABELA 7- Porosidade total (Pt) em comparação com os diferentes tipos de cobertura e camadas do solo.....	30
TABELA 8 - Microporosidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em função do preparo do solo, em relação a cobertura e as diferentes camadas do solo estudadas.....	31
TABELA 9 - Macroporosidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ em comparação entre as plantas de cobertura.....	33
TABELA 10 - Macroporosidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em função do preparo do solo em diferentes camadas estudadas.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE TERRAS BAIXAS	13
2.1.1	Alternativas de cultivo em áreas de terras baixas	13
2.1.1.1	Compactação dos solos de terras baixas.....	14
2.3	SISTEMAS DE MANEJO E IMPLANTAÇÃO.....	15
2.3.1	Descompactação mecânica com o uso de escarificadores	15
2.3.2	Descompactação biológica com o uso de plantas de cobertura	17
2.3.2.1	Caracterização das espécies.....	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

De grande importância na base alimentar de bilhões de pessoas, o arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo. O Brasil, na média de 2009/10, participa com 78% da produção do Mercosul e 70% da produção total nacional se concentra no estado do Rio Grande do Sul (RS) (SOSBAI, 2018), cultivado em quase toda sua totalidade no sistema inundado. Segundo Fin (2017), 5,4 milhões de hectares referem-se a terras baixas, em que 1,1 milhão é destinado ao monocultivo de arroz irrigado anualmente, em alguns casos, implementado pastagem com azevém no outono-inverno. Porém, na busca por alternativas sustentáveis e eficientes de manejo da lavoura de arroz irrigado, têm se difundido a alternância com outras culturas, especialmente a soja (*Glycine max* (L.) Merri.). O cultivo de soja em áreas de terras baixas, em rotação com o arroz irrigado, teve seu início em 2009/10 (MARCHESAN, 2016), e na safra 2020/21, segundo IRGA (2021) ocupou 39,3% da área cultivada com arroz irrigado no RS.

O principal benefício desta alternância refere-se ao controle de plantas daninhas, já que muitas dessas invasoras tornaram-se resistentes aos herbicidas disponíveis no mercado, principalmente o arroz vermelho, além de ser uma boa alternativa de diversificação e renda ao produtor de arroz irrigado (KLUTHCOUSKI et al., 2004). Porém, existem diversos desafios para que a cultura da soja, assim como demais culturas de sequeiro, consiga expressar seu verdadeiro potencial produtivo em solos como os de terras baixas. Na totalidade, estes solos já foram submetidos a um certo grau de revolvimento e cultivo, seja no preparo do solo ou na colheita da cultura do arroz irrigado com alta umidade do solo, ocasionando desestruturação dos atributos físicos do mesmo (VEDELAGO et al., 2013). Em destaque, a presença de camadas subsuperficiais compactadas (TAYLOR et al., 1966) e ao selamento superficial, que dificultam a emergência das sementes e restringe o desenvolvimento das raízes, limitando a exploração de nutrientes e água do solo, reduzindo ou limitando, conseqüentemente, a produtividade de outras culturas. Outrossim, naturalmente os solos de terras baixas possuem como características intrínsecas a alta densidade, baixa porosidade e capacidade de armazenar água.

Nesse sentido, são necessárias medidas para reduzir estes efeitos (COLET, 2009; GIACOMELI et al., 2016), sejam elas, realizadas no momento da semeadura, com a utilização de mecanismos que revolvam o solo, ou preparos anteriores à semeadura. Como resultado, a prática da escarificação vem ganhando adoção na maioria das propriedades, por romper a camada compactada e proporcionar produtividades de soja semelhantes às alcançadas em terras altas (GIACOMELI et al., 2016; MARCHESAN, 2016).

Porém, em função de questões operacionais, o processo de escarificação é muitas vezes substituído pelo emprego de hastes sulcadoras como sulcador de fertilizante nas semeadoras-adubadoras a fim de maximizar as operações e o tempo envolvido. Segundo Giacomeli (2015) para a cultura do milho em áreas de arroz irrigado, dentre as alternativas estudadas, destaca-se a escarificação do solo e semeadura direta com haste sulcadora, porém a escolha de implantação deve ser feita de acordo com as condições e possibilidades de cada área. Recomenda-se a utilização da haste sulcadora em áreas com declividade e bem drenadas e a escarificação em ambientes em que será cultivada mais de uma safra agrícola, com culturas em rotação com arroz irrigado visando a permanência dos efeitos dessa operação no solo por mais tempo. Fin (2017) ao estudar a duração da escarificação associado a cobertura vegetal na produção de soja identificou que é notório mudanças na densidade, porosidade total e resistência à penetração em Planossolos por no mínimo 18 meses, refletindo no rendimento de grãos de soja para uma segunda safra.

Segundo Kochhann et al. (2000), as operações com escarificadores demandam um alto consumo energético e a utilização de tratores de alta potência. Assim como, os efeitos da escarificação podem persistir desde poucos meses até alguns anos, dependendo das características do solo e das práticas de manejo, retornando a sua condição original (ÁLVAREZ et al., 2009; DRESCHER, 2016).

A cobertura vegetal tem como propósito proteger o solo, promover a ciclagem de nutrientes, aumentar o teor de matéria orgânica, melhorar a agregação e aeração do solo, proporcionando uma melhor condição química, física e biológica do solo (NICOLOSO et al., 2008). Neste sentido, a utilização de mecanismos que proporcionem melhor estruturação do solo em consórcio com o cultivo de plantas de cobertura durante o período de inverno surge como uma alternativa para a estabilidade produtiva da soja em terras baixas, como também a oportunidade da adoção de sistemas conservacionistas. A descompactação biológica, segundo Camargo e Alleni (1997), promove uma ruptura mais homogênea da camada compactada e é uma ótima ferramenta, uma vez que não seja suficiente a redução nas operações agrícolas e aplicação de métodos de descompactação mecânicos, para solucionar os problemas relacionados à estrutura do solo (JIMENEZ et al., 2008).

Sendo assim, a hipótese deste trabalho foi de que a semeadura de plantas de cobertura que apresentem mecanismos adaptados ao excesso hídrico e raízes profundas e robustas, após a realização da escarificação do solo, auxiliem a manter os efeitos da descompactação mecânica, atuando como uma descompactação biológica, proporcionando melhores condições físicas do solo para o desenvolvimento de culturas de sequeiro subsequente. Assim, o objetivo

geral foi o determinar o efeito da descompactação mecânica do solo, por meio da escarificação, associado a descompactação biológica, com a implantação de uma cobertura de solo na entressafra, sobre a resistência à penetração (índice de cone), porosidade (micro e macroporosidade) e densidade do solo, antecedente à semeadura da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE TERRAS BAIXAS

Os solos de terras baixas representam 20% da área total do Estado do Rio Grande do Sul (RS), apresentando condições variadas de deficiência de drenagem, ocupando áreas extensas de baixas altitudes (0-200m), de relevo plano a suave ondulado (GOMES et al., 2006; MARCHEZAN, 2016.). Apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas destes solos, o que resulta em diferentes classes de solos, com limitações e aptidões de uso diversas (GOMES et al., 2006). As principais classes são Planossolos, Chernossolos, Neossolos, Vertissolos, Plintossolos e Gleissolos, que representam, respectivamente, 56, 16, 12, 9, 8 e 7 % da área (PINTO et al., 2004).

São solos de densidade natural elevada, baixa porosidade, relação micro/macroporos muito alta, camadas compactadas próximas a superfície, baixa estabilidade de agregados e tendência à formação de selamento superficial (GIACOMELI et al., 2017; MARCHEZAN, 2016; GUBIANI et al., 2018). Os Planossolos, em destaque, Planossolos Háplicos Eutróficos arênicos, são imperfeitamente ou mal drenados, relevo plano a ondulado, apresentam perfis com sequência de horizontes A-E-Bt-C, com horizonte A de cor escura e o horizonte E de cor clara, de textura mais arenosa, com passagem abrupta para o horizonte Bt, mais argiloso e adensado de cor acinzentada com ou sem mosqueados vermelhos e/ou amarelos (STRECK et al., 2018). São solos capacitados para o cultivo de arroz irrigado, entretanto, com sistemas de drenagem eficientes, podem ser cultivados outras culturas, como soja, milho e pastagens (STRECK et al., 2018).

2.1.1 Alternativas de cultivo em áreas de terras baixas

O arroz é a principal cultura explorada nas áreas da metade Sul do RS, assim como a pecuária, entretanto, estas áreas apresentam potencial para um uso mais intensivo com outros cultivos, através da realização de certas adequações, como a identificação de genótipos adaptados ao ambiente de terras baixas (MARCHEZAN, 2016). A soja cultivada neste tipo de solo ocupa hoje mais de 30% da área cultivada com arroz irrigado no RS (IRGA, 2020). O milho ainda vem sendo estudado nessas áreas, porém já está caracterizando uma nova e excelente alternativa ao monocultivo do arroz irrigado, semelhante ao que está ocorrendo com a soja (GIACOMELI et al., 2016; SILVA et al., 2020).

A principal causa para o aumento crescente no cultivo de outras culturas em áreas de arroz irrigado, é o crescimento do número de plantas daninhas resistentes ou de difícil controle aos herbicidas utilizados na cultura, como os inibidores da enzima ALS (MARCHESAN, 2016). Assim, a rotação de culturas, apresenta-se como uma das principais alternativas, reduzindo o banco de sementes no solo, um maior controle das plantas daninhas, melhor qualidade do solo, otimização do uso de máquinas e mão de obra, além de quebrar os ciclos de pragas e doenças e proporcionar outra fonte de renda ao produtor (FIN et al., 2018; VERNETTI et al., 2009).

Entretanto, a inserção de outras culturas em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz, demanda entender melhor as exigências das diferentes culturas em relação ao seu crescimento e limites impostos pelos estresses que ocorrem nesse tipo de ambiente, tanto da parte química, quanto a física do solo (MARCHESAN, 2016; SICZEK & LIPIEC, 2011). Ao contrário da maioria das culturas, no sistema de cultivo utilizado no RS, o arroz irrigado desenvolve aerênquimas que propiciam a oxigenação das raízes, sendo então adaptado ao ambiente anaeróbico (GROHS et al., 2021), podendo ser utilizado a irrigação por inundação, à qual é beneficiada pela presença de uma camada subsuperficial compactada, que reduz a drenagem natural, mantendo uma lâmina de água na superfície por mais tempo (MARCHESAN, 2016). Porém, para rotação de culturas, a presença da camada subsuperficial compactada, tem sido um dos principais limitantes, pois, de forma direta, influência na conservação de água do solo, impactando no crescimento e produtividade de outras culturas (MARCHESAN, 2016; SICZEK & LIPIEC, 2011).

2.1.1.1 Compactação dos solos de terras baixas

Para que uma cultura possa expressar seu real potencial produtivo, é indispensável que o estado físico do solo apresente condições favoráveis de estrutura, no qual o espaço poroso do mesmo otimize a disponibilidade de água e as trocas gasosas, assim como, ocorra o crescimento radicular das plantas sem o impedimento mecânico. Parte destas características, sofrem com o acentuado aumento da utilização da mecanização agrícola, seja implementos ou máquinas com elevada massa, assim como, o efeito do preparo do solo ou colheita com umidade excessiva do solo durante o cultivo de arroz irrigado, intensificando a formação de uma camada compactada próxima à superfície do solo (MUNARETO et al., 2010; MARCHESAN, 2013).

A definição da compactação do solo, pode ser interpretada como a redução do seu volume por compressão, ocorrendo um arranjo mais denso de suas partículas, o que causa uma

atenuação do espaço poroso entre elas, dá continuidade dos poros, da permeabilidade e da aeração do solo, vindo a contribuir também com a redução da condutividade hidráulica do solo, assim, dificultando a drenagem do perfil (MUNARETO et al., 2010; GOMES et al., 2006; SOANE & OUWERKERK, 1994).

Em relação aos fatores que influenciam a compactação do solo, são considerados externos, o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, a massa das máquinas, a pressão interna dos pneus e o pisoteio causado pela presença dos animais, se houver (REICHERT, 2009). São intrínsecos do solo, o teor de água, a densidade das partículas, a textura e o tipo de mineral de argila, visto que, as classes de solo consideradas argilosas, são mais susceptíveis à compactação (REICHERT, 2009).

2.3 SISTEMAS DE MANEJO E IMPLANTAÇÃO

Após a constatação da compactação do solo em que a mesma se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento das culturas, é necessária a adoção de medidas preventivas ou mitigadoras. Para isso, as práticas que podem ser utilizadas atualmente para descompactação do solo em subsuperfície pode ser efetuada por vários implementos ou máquinas agrícolas de uso comum nas lavouras, como subsoladores, escarificadores e grades de dentes, discos, entre outros (JÚNIOR et al., 2020).

2.3.1 Descompactação mecânica com o uso de escarificadores

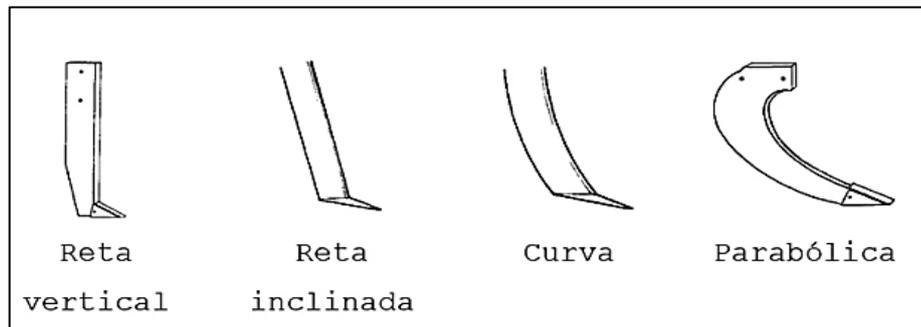
O uso de escarificadores tem sido uma prática corriqueira, por ser bastante eficiente no rompimento da camada compactada, reduzindo a densidade do solo e aumentando a porosidade (JÚNIOR et al., 2020; KOCHHANN; DENARDIN, 2000). Ao testarem diferentes preparos de solo, em um Planossolo, segundo SARTORI et al. (2015) e Grohs et al. (2021), a escarificação reduziu a camada compactada do solo, proporcionando o maior rendimento de grãos de soja, mesmo efeito observado por Giacomeli et al. 2016, sobre a cultura do milho. Como desvantagem, em solos mais sensíveis ao processo de reconsolidação, seu efeito pode ser de curta duração, bem como, se realizada em condições de umidade não adequada, pode ocorrer uma rugosidade da superfície do solo, que dificulta a semeadura subsequente e a drenagem superficial (JUNIOR et al., 2020).

Os escarificadores tem como principal vantagem a mobilização do solo com pouco revolvimento (comparado aos subsoladores), promovendo a incorporação de menos de 1/3 do

material existente na superfície, deixando maior quantidade de resíduos de palha (cerca de 70%) e rompendo camadas compactadas mais superficiais do solo (ORTIZCAÑAVATE & HERNANZ, 1989; BIANCHINI et al., 1999), 5 e 15 cm tem-se a escarificação superficial, 15 a 35 cm a escarificação profunda. São constituídos por um chassi (barra porta-ferramentas), hastes, ponteira e acessórios.

O chassi pode ser de formato quadro ou angular, e é o local onde as hastes são fixadas. As hastes (Figura 1) podem ser de diferentes formatos, reta vertical, reta inclinada, curva e parabólica, onde a demanda de potência do trator diminui na sequência apresentada. As ponteiras se deslocam frente a haste promovendo o rompimento, visto que são elas o órgão ativo do equipamento, e sua largura determina a profundidade ideal de trabalho, que deve ser cinco a sete vezes a largura da ponteira em uso, podendo ser com largas ou estreitas, onde, as ponteiras aladas possibilitam o trabalho a maiores profundidades. E como acessórios, esses equipamentos podem apresentar discos de corte e rolo destorroador (BALASTREIRE, 1990; MACEDO et al., 2016).

Figura 1- Tipo de hastes de escarificadores/subsoladores



Fonte: (Tavares et al., 2020).

Este equipamento também permite algumas regulagens, como a profundidade de trabalho, sendo de 0,05 a 0,10 m abaixo da camada compactada, não ultrapassando cinco a sete vezes a largura da ponteira. O número de hastes, que dependerá da potência do trator a ser utilizado. O espaçamento entre hastes, que é diretamente relacionada com a profundidade, baseada no tipo e larguras das ponteiras, 1 a 1,5 vezes a profundidade de trabalho para ponteiras sem asas e 1,5 a 2, para ponteiras com asas. E a velocidade de trabalho, que na prática adota-se na faixa de 2 a 6 km h⁻¹ (BALASTREIRE, 1990; MACEDO et al., 2016).

2.3.2 Descompactação biológica com o uso de plantas de cobertura

Em áreas de arroz irrigado, tem-se implantado plantas de cobertura, espécies outono-inverno durante o período de entressafra, a fim de se realizar uma agricultura mais conservacionista (MARCHEZAN,2016; GROHS, 2020). As plantas de cobertura além de proteger o solo com a formação de cobertura vegetal, melhoram a estrutura de agregação e aeração, promove a manutenção da umidade, facilita a infiltração de água, possibilitam a reciclagem de nutrientes, proporcionando melhorias significativas nas características físicas, químicas e biológicas do solo (FIN, 2017).

E a descompactação biológica consiste na utilização de plantas que possuam um sistema radicular profundo, abundante e agressivo, capaz de se desenvolver em camadas de solo compactadas (ABREU et al., 2004). Espécies que produzem grande massa para cobertura, e que, em destaque, as gramíneas, possuem sistema radicular abundante e volumoso (SCHOENFELD, 2011). As raízes dessas culturas penetram em camadas compactadas e, após sua decomposição, deixam canais que melhoram a mobilidade da água e a difusão dos gases no perfil do solo, resultando em melhor estruturação do mesmo (BARLEY, 1954; GONÇALVES, 2006). Entretanto, algumas espécies, mesmo indicadas para essa finalidade, têm o desenvolvimento das suas raízes limitado quando o solo apresenta níveis muito elevados de densidade e resistência à penetração.

2.3.2.1 Caracterização das espécies

O trevo persa (*Trifolium resupinatum*), é uma cultura anual de estação fria, que pertence ao grupo das leguminosas, e vem se sobressaindo devido a sua produção de forragem de alta qualidade, ciclo curto, pela competitividade, pela adaptação a solos mal drenados, pela decomposição rápida de seus resíduos, além de fixar o nitrogênio no solo, o qual será aproveitado pela cultura subsequente. Além de formar um banco de sementes no solo, proporcionando uma regeneração natural por sementes, devido ao seu florescimento precoce e alta produção de sementes duras (COSTA et al., 2005).

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma gramínea, pertencente à família da *Poacea*, sendo uma das espécies de gramíneas mais cultivadas de inverno no sul do Brasil, devido a sua maior adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região (PEDROSO et al., 2004). Possui elevado potencial de produção de massa de forragem e capacidade de rebrote e qualidade nutricional

elevada, além de possuir denso sistema radicular fasciculado, que eleva a matéria orgânica e atividade biológica do solo (PEDROTTI et al., 2001).

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), é uma gramínea de inverno que possui dois sistemas radiculares, um seminal e outro de raízes permanentes. Rústica, pouco exigente em fertilidade e se adapta bem no estado do RS. É uma espécie precoce, que se habitua bem a consorciação com espécies como o azevém, centeio, serradela, trevo subterrâneo, trevo vermelho, trevo vesiculoso, trevo branco e ervilhaca. Adapta-se bem a grande variedade de solos, porém, prefere os argilosos, mas com boa drenagem (FONTINELI et al., 2012)

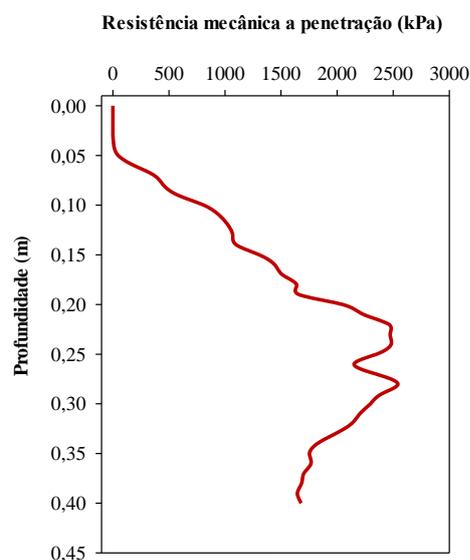
3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra de 2021/22, no período de entressafra, na Estação Regional de Pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizada na localidade da Barragem do Capané, em Cachoeira do Sul – RS. O solo foi classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Arênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013), de relevo plano, com as seguintes características químicas na camada de 0,0 a 0,20 metros: 5,9 de pH, 78,59 % de saturação por bases, 0,01 cmolc dm⁻³ de Al, 5,23 cmolc dm⁻³ de Ca, 3,68 cmolc dm⁻³ de Mg, 0,11 cmolc dm⁻³ de K, 4,41 mg dm⁻³ de P e 166 g kg⁻¹ de M.O.

A caracterização textural do solo se deu através da coleta de amostras indeformadas a campo, com posterior análise no Laboratório do curso de Engenharia Agrícola, seguindo a metodologia proposta por EMBRAPA (2013). O solo foi classificado texturalmente como franco-siltoso, composto por 12,32% de argila, 55,17% de silte e 32,51% de areia.

Para caracterização do índice de cone, para todas as avaliações do trabalho, foi determinada a resistência à penetração do solo, utilizando um penetrômetro eletrônico da marca Falker, modelo PLG 1020. A coleta de dados foi realizada na profundidade de 0 a 0,40 m, com aquisição de dados a cada 0,010 m de profundidade, de forma aleatória dentro da área experimental. A Figura 2, ilustra a alteração média da resistência à penetração na área experimental em função da profundidade.

Figura 2- Resistência à penetração média da área experimental em função da profundidade



Fonte: (Autor, 2022)

O histórico da área é definido pela presença de milho (*Zea mays*) na safra 2014/15, dois anos de pousio, arroz (*Oriza Sativa L.*) irrigado na safra 2018/19, soja (*Glycine max*) em 2019/20. Por último, situando-se em pousio, com presença de plantas espontâneas, no qual foi necessário realizar uma dessecação antecedendo a execução do experimento.

O experimento foi composto pela interação de três distintos fatores, sendo eles: manejo do solo (Fator 1, com dois níveis), plantas de cobertura (Fator 2, com seis níveis) e por diferentes camadas do solo (Fator 3, com quatro níveis) e o delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcela subdividida, com quatro repetições (Figura 3). O Fator 1, distribuído em oito faixas de 30 m de comprimento dentro da área experimental, parcela principal, o Fator 2, em cada faixa de forma casualizada, ocupando uma área útil de 25 m² (5 x 5 m) e o Fator 3, dentro de cada unidade experimental do Fator 2, sendo ambos uma subparcela da parcela principal. Na Tabela 1, são descritos os respectivos níveis de cada fator.

Tabela 1 – Descrição dos fatores experimentais e seus respectivos

Níveis	Fatores		
	Preparo do solo	Cobertura do solo	Camadas (m)
1	Escarificação	Aveia preta (T1)	0,00-0,05
2	Não escarificação	Azevém (T2)	0,05-0,10
3	-	Azevém e Aveia preta (T3)	0,10-0,15
4	-	Azevém e Trevo (T4)	0,15-0,25
5	-	Pousio (T5)	-
6	-	Trevo-persa (T6)	-

Fonte: (Autor, 2022)

Figura 3 – Imagem aérea do experimento (16/09/2021)



Fonte: (Porto J., 2022)

A escarificação do solo foi realizada com um escarificador de cinco hastes parabólicas com ponteira estreita e espaçamento entre hastes de 0,25 m (Figura 4), regulado com uma profundidade de trabalho de 0,25 m, no dia 9/04/2021. Realizando juntamente a coleta de amostras de solo deformadas nas camadas, 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,25 m, em sete pontos distintos dentro da área experimental, a fim de determinar a umidade presente no solo durante a operação. Na Tabela 2, são apresentados os valores médios de umidade gravimétrica.

Tabela 2 – Umidade gravimétrica média (U_g) em função de diferentes camadas do solo

Camadas (m)	U_g ($g\ g^{-1}$)
0,00 a 0,05	0,15
0,05 a 0,10	0,16
0,10 a 0,15	0,15
0,15 a 0,25	0,16

Fonte: (Autor, 2022)

Figura 4 – Escarificador Kohler com cinco hastes parabólicas utilizado para a escarificação do solo



Fonte: (Francetto T., 2021)

A semeadura das plantas de cobertura foi em linha, no sentido transversal a escarificação, realizada no dia 23/04/2021, nas densidades de $80\ kg\ ha^{-1}$, $15\ kg\ ha^{-1}$, $10\ kg\ ha^{-1}$ + $50\ kg\ ha^{-1}$, $10\ kg\ ha^{-1}$ + $5\ kg\ ha^{-1}$ e $8\ kg\ ha^{-1}$ de aveia preta (T1), azevém (T2), azevém e aveia (T3), azevém e trevo persa (T4) e trevo persa (T6), respectivamente. Para adubação foi utilizado $280\ kg\ ha^{-1}$ da formulação 04-17-27 (considerando-se $11\ kg\ ha^{-1}$ de N, $47\ kg\ ha^{-1}$ de P e $75\ kg\ ha^{-1}$ de K.). No dia 18/05/2021, devido à grande incidência de azevém resistente na área, foi

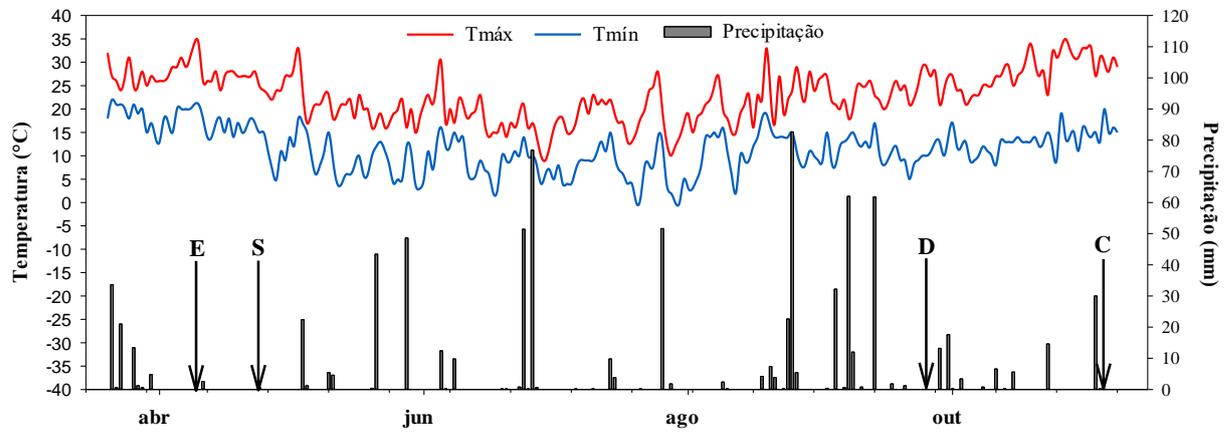
realizada aplicação do herbicida Gramoxone 200, na dose de 4 L ha⁻¹, no tratamento T5 e Fusilade 250 EW na dose de 0,6 L ha⁻¹, no T6, sendo realizado nos demais tratamentos, capina manual. Aos 35 dias após a semeadura, 27/05/2021, foi aplicado a lanço ureia branca (45% de N) na densidade de 111,1 kg ha⁻¹, considerando-se 50 kg ha⁻¹ de N, nos tratamentos T1, T2 e T3. Nas unidades experimentais com Trevo-persa, T4 e T6, foi realizada a aplicação de 181,81 kg ha⁻¹ de DAP, no dia 15/06/2021, totalizando 80 kg ha⁻¹ de P e 33 kg ha⁻¹ de N. E para prevenção e manutenção da sanidade das plantas, foi realizado no dia 16/06/2021 a aplicação em todo o experimento do fungicida Tebufort, na dose de 1 L ha⁻¹ e do inseticida Engeo, 300 mL ha⁻¹.

A dessecação da área foi realizada dia 24/09/2021, sendo realizada após 41 dias, a coleta de amostras de solo com estrutura preservada, para determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. As amostras foram coletadas entre as linhas da escarificação, nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,15 e 0,15 a 0,25 m. Após a coleta, as amostras foram saturadas por capilaridade, pesadas e colocadas na mesa de tensão sob a tensão de 60 kPa.

A densidade do solo (Ds, g cm⁻³) foi determinada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume da amostra de solo. A porosidade total (Pt, cm³ cm⁻³) pela relação entre o conteúdo volumétrico de água na saturação e o volume da amostra, a microporosidade (Mi, cm³ cm⁻³) pela relação entre o conteúdo volumétrico de água na tensão de 60 kPa e o volume da amostra, e a macroporosidade (Ma, cm³ cm⁻³) pela diferença entre Pt e Mi. Nas mesma camadas, também foi determinada a resistência mecânica à penetração e determinada a umidade gravimétrica (Ug, g g⁻¹) do solo nos mesmos tratamentos, através da coleta deformada de solo, que após adquirido seu peso úmido, foi colocado para secar por três dias a uma temperatura de 105° C até obter peso constante, conforme metodologia da EMBRAPA (2011).

A Figura 5, ilustra a temperatura máxima (°C) e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de execução do experimento, adquirido através da estação meteorológica SIMAGRORS010-IRGA CAPANÉ, instalada na Estação Regional de Pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Figura 5- Temperatura máxima (°C) e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de execução do experimento. E- Escarificação (9/04/2021); S – Semeadura das plantas de cobertura (23/04/2021); D- Dessecação da área (24/09/2021); C- Coleta (04/11/2021). Fonte: WeatherLink, 2021.



Fonte: (Adaptado WeatherLink, 2022)

Após aquisição dos dados, os mesmos foram submetidos à análise estatística de variância e verificado a significância dos fatores através do teste F. Quando significativo o teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a nível de 5 % de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, é apresentada a análise estatística com as médias das variáveis e os resultados do teste F.

Tabela 3 – Análise estatística com as médias das variáveis estudadas e os resultados do teste F

Fatores	Variáveis				
	RP	Ds	Pt	Mi	Ma
Preparo do solo					
Escarificado (Es)	415,95 b	1,64 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Não escarificado (Ns)	758,84 a	1,66	0,36	0,32	0,04
Cobertura do solo					
Aveia (T1)	524,36 c	1,61 b	0,36 a	0,33 a	0,03 ab
Azevém (T2)	445,99 cd	1,64 ab	0,36 a	0,33 ab	0,04 ab
Azevém e Aveia (T3)	446,42 cd	1,67 ab	0,35 ab	0,32 ab	0,03 b
Azevém e Trevo (T4)	394,4 d	1,65 ab	0,36 ab	0,33 ab	0,04 ab
Pousio (T5)	989,79 a	1,7 a	0,34 b	0,31 b	0,03 ab
Trevo (T6)	706,73 b	1,65 ab	0,35 ab	0,31 b	0,04 a
Camadas do solo					
0,00 a 0,05 (C1)	70,41 d	1,43 c	0,43 a	0,36 a	0,06 a
0,05 a 0,10 (C2)	395,37 c	1,63 b	0,35 b	0,32 b	0,04 b
0,10 a 0,15 (C3)	665,75 b	1,75 a	0,32 c	0,30 c	0,02 c
0,15 a 0,25 (C4)	1188,25 a	1,78 a	0,32 c	0,31 c	0,01 c
CV e Média Geral					
CV 1 (%)	16,97	6,21	10,31	7,02	1,09
CV 2 (%)	6,67	5,45	7,75	5,79	0,94
Média Geral	579,95	1,65	0,35	0,32	0,03
Teste F					
Manejo do solo (F1)	45,58*	2,74 ^{ns}	5,31 ^{ns}	0,09 ^{ns}	11,71*
Cobertura do solo (F2)	65,58*	2,80 *	2,98*	4,78*	2,86*
Camadas (F3)	454,40*	145,52*	158,81*	93,53*	73,50*
F1 x F2	8,04*	0,52 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,37 ^{ns}
F1 x F3	55,13*	1,29 ^{ns}	1,72 ^{ns}	1,26 ^{ns}	5,36*
F2 x F3	3,72*	0,56 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,04*	1,32 ^{ns}
F1 x F2 x F3	0,63 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,79*	0,73 ^{ns}

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). RP: resistência à penetração; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Mi: microporosidade; Ma: macroporosidade. Fonte: (Autor, 2022).

Para a variável resistência a penetração houve influência estatística dos fatores de forma isolada e nas interações múltiplas, não havendo significância na interação tripla. Densidade e

porosidade total, teve influência dos fatores cobertura e camadas do solo. Em relação a microporosidade, além dos fatores cobertura do solo e camadas ser significativo, houve diferença na interação dupla e tripla com o manejo do solo. Para a macroporosidade, houve diferença significativa dos fatores de forma isolada e na interação manejo e cobertura do solo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Guedes Filho et al. (2013) de que tanto a escarificação mecânica quanto a biológica resultam em uma melhoria na qualidade física do solo.

A Tabela 4, ilustra o comportamento da resistência à penetração (RP), juntamente com a umidade gravimétrica (Ug) em função do preparo e cobertura do solo.

Tabela 4- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do preparo do solo e cobertura do solo. Cachoeira do Sul, 2022.

	Escarificado		Não escarificado	
	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)
Aveia	373,98 bcB	0,21	674,75 cA	0,22
Azevém	311,73 cB	0,21	580,26 cA	0,25
Azevém e Aveia	328,07 bcB	0,22	564,77 cA	0,20
Azevém e Trevo	252,96 cB	0,23	582,99 cA	0,20
Pousio	748,34 aB	0,17	1311,73 aA	0,16
Trevo	480,64 bB	0,19	932,83 bA	0,18
CV 1 (%)				16,97
CV 2 (%)				6,67

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

Percebe-se que a utilização da escarificação foi eficiente na redução da resistência à penetração, pois em todos os tratamentos, tanto o pousio, como os demais que obtiveram a inserção de uma planta de cobertura, tiveram o valor de RP reduzido, em contrapartida, com os tratamentos que não obtiveram escarificação. Em destaque, a redução de mais de 500 kPa no tratamento de pousio, escarificado, do não escarificado. Corroborando com os resultados encontrados por Giacomeli (2015), Fin (2017) e Grohs et al. (2020), onde a escarificação do solo tem sido eficaz em reduzir a resistência mecânica à penetração, principalmente em Planossolos.

Em relação à cobertura do solo, no ambiente onde ocorreu a escarificação, o pousio, apresentou a maior média, 748,34 kPa, em analogia, principalmente, com o tratamento azevém e trevo, 252,96 kPa e azevém solteiro, 311,73 kPa. Na área onde não foi escarificado, o

tratamento pousio também apresentou a maior média, 1311,73 kPa, ficando em segundo lugar o tratamento trevo solteiro, com 932,83 kPa, e demais tratamentos, apesar de diminuir a RP, segundo o teste de médias, não houve evidência clara que alguma das espécies contribuiu mais que a outra. A descompactação biológica, segundo Camargo e Alleni (1997), promove uma ruptura mais homogênea da camada compactada e é uma ótima ferramenta, uma vez que não seja suficiente a redução nas operações agrícolas e aplicação de métodos de descompactação mecânicos, para solucionar os problemas relacionados à estrutura do solo (JIMENEZ et al., 2008). Ainda, Pedrotti et al. (2001), em seu trabalho realizado com sucessão de culturas, azevém (outono-inverno) e arroz (verão), constatou uma diminuição nos valores de resistência mecânica à penetração ao longo do perfil do solo, devido a contribuição do azevém na estruturação do solo, seu denso sistema radicular fasciculados e vasta produção de matéria seca, que eleva a matéria orgânica e atividade biológica do solo.

A RP e a Ug em função do preparo de diferentes camadas do solo, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do preparo do solo e diferentes camadas do solo. Cachoeira do Sul, 2022.

Camadas	Escarificado		Não escarificado	
	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)
0,00 a 0,05	58,88 dA	0,27	83,01 dA	0,26
0,05 a 0,10	312,52 cB	0,20	485,76 cA	0,19
0,10 a 0,15	478,55 bB	0,18	869,96 bA	0,19
0,15 a 0,25	813,87 aB	0,18	1596,66 aA	0,19
CV 1 (%)				16,97
CV 2 (%)				6,67

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

Em todas as camadas estudadas, exceto na camada de 0 a 5, apresentaram redução de RP com o manejo da escarificação. Fato, que pode estar associado a alteração das propriedades mecânicas e físicas do solo, após a escarificação, que tornam o solo nesta camada mais vulnerável à compactação pelo tráfego subsequente de máquinas, neste caso a semeadura, e à reconsolidação natural do solo como destacam Busscher et al. (2002), Silva et al. (2012) e Nunes et al. (2019). Em ambos ambientes, seja na área escarificada ou não escarificada, os maiores valores de RP, estão na camada de 0,15 a 0,25 cm e os menores valores, na camada de

0,00 a 0,05 m. Giacomeli (2017), em seu trabalho realizado em um Planossolo, após a realização da escarificação, identificou menores valores de RP em todo o perfil do solo até a profundidade de trabalho regulado do equipamento que foi de 0,20 m, onde foi menor na superfície e maior em profundidade, corroborando com os resultados encontrados, visto, que no presente trabalho, a profundidade regulada foi de 0,25 m.

Na Tabela 6, é exibido a RP e Ug em função do uso de plantas de cobertura em diferentes camadas do solo.

Tabela 6- Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) em função do uso de plantas de cobertura em diferentes camadas do solo. Cachoeira do Sul, 2022.

Camadas	0,0 a 0,05		0,05 a 0,10		0,10 a 0,15		0,15 a 0,25	
	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)	RP (kPa)	Ug (g g ⁻¹)
Aveia	32,05 abD	0,27	267,47 cC	0,20	598,41 cB	0,20	1199,52 bcA	0,21
Azevém	31,68 abD	0,31	234,81 cC	0,20	560,20 cB	0,20	957,28 dA	0,22
Azevém e Aveia	35,21 abD	0,27	250,93 cC	0,20	465,96 cB	0,18	1033,59 cdA	0,18
Azevém e Trevo	18,49 bC	0,31	200,73 cC	0,22	465,26 cB	0,18	893,12 dA	0,16
Pousio	253,53 aC	0,17	917,28 aB	0,18	1108,34 aAB	0,17	1680,03 aA	0,15
Trevo	67,95 abD	0,23	541,92 bC	0,18	826,57 bB	0,17	1390,51 bA	0,15
CV 1 (%)								16,97
CV 2 (%)								6,67

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

Em todos os tratamentos com plantas de cobertura foi aumentando o valor de RP da primeira camada para última, exceto no tratamento pousio e consórcio azevém e trevo. Na camada de 0,00 a 0,05 m, a maior RP foi de 253,53 kPa no tratamento pousio e a menor, 18,49 kPa no tratamento azevém e trevo. Na camada de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,15, o pousio novamente apresentou o maior valor de RP de aproximadamente 920 a 1120 kPa, seguido do tratamento trevo solteiro, 550 a 830 kPa. Na última camada estudada, 0,15 a 0,25 m, a RP foi de 1680,03 kPa no tratamento pousio, seguido do tratamento trevo com 1390,51 kPa.

Anschau et al. (2018) constatou no seu trabalho que a utilização de plantas de cobertura, foi eficiente em promover a redução da resistência à penetração do solo. É perceptível, neste estudo, que independente do preparo do solo, as plantas de cobertura utilizadas, exceto o consórcio azevém e aveia, foram uma alternativa eficiente em reduzir a RP na camada superficial compactada (0,15 a 0,25 m), em relação ao ambiente sem cobertura do solo.

Ainda, em relação a RP, independente do fator avaliado, ou seja, em todos os tratamentos, é possível perceber a intensa variação da RP com a mudança do teor de Ug no solo. Segundo Reichert et al. (2009), umidades próximas a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ causam valores de RP inferiores a 1.500 kPa e umidades próximas a $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, podem alcançar valores de até 3.000 kPa, ou seja, quanto maior a umidade no momento das avaliações menores valores de RP. Outra condição importante de relatar, é que também não houve valores de RP maiores que 2000 kPa, valor considerado por Taylor et al. (1966), Corallares et al. (2011) e Júnior et al. (2020), como restritivo ao desenvolvimento radicular das plantas, em destaque a soja.

A Tabela 7 ilustra a densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) em comparação com tipos de cobertura e camadas do solo estudadas.

Tabela 7- Porosidade total (Pt) em comparação com os diferentes tipos de cobertura e camadas do solo.

Cachoeira do Sul, 2021.

(continua)

	Ds (g cm^{-3})	Pt ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
Cobertura do solo		
Aveia	1,61 b	0,36 a
Azevém	1,64 ab	0,36 a
Azevém e Aveia	1,67 ab	0,35 ab
Azevém e Trevo	1,65 ab	0,36 ab
Pousio	1,70 a	0,34 b
Trevo	1,65 ab	0,35 ab
Camadas do solo		
0 a 5	1,43 c	0,43 a
05 a 10	1,64 b	0,36 b
10 a 15	1,76 a	0,32 c
15 a 25	1,78 a	0,32 c
CV 1(%)	6,21	10,31
CV 2 (%)	5,45	7,75

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022).

O tratamento com a inserção da aveia como cobertura do solo, se diferiu com uma densidade menor de $1,61 \text{ g cm}^{-3}$, do tratamento pousio, sem cobertura, $1,70 \text{ g cm}^{-3}$. Na porosidade total do solo, o tratamento com a inserção da aveia e azevém solteiros como cobertura do solo, se diferiu com maior Pt, $0,36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, do tratamento pousio, sem cobertura,

0,34 cm³ cm⁻³. Corroborando com Giacomeli (2017), que encontrou médias de Ds maiores que 1,6 Mg m⁻³, que resultaram em uma Pt de 0,36 m³ m⁻³.

As camadas 0,10 a 0,15 m e 0,15 a 0,25 m, apresentaram, respectivamente, 1,76 g cm⁻³ e 1,78 g cm⁻³ de densidade, maior do que 1,43 g cm⁻³ encontrado na camada de 0,00 a 0,05 m e 1,64 g cm⁻³ na camada de 0,05 a 0,10 m. O tratamento com a inserção da aveia e azevém solteiros como cobertura do solo, se diferiu com maior Pt, 0,36 cm³ cm⁻³, do tratamento pousio, sem cobertura, 0,34 cm³ cm⁻³. As camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, apresentaram, respectivamente, 0,43 cm³ cm⁻³ e 0,36 cm³ cm⁻³ de Pt, maior do que 0,32 cm³ cm⁻³, encontrado nas camadas de 0,10 a 0,15 m e 0,15 a 0,25 m. Segundo Six et al. (2004), menores valores de Ds e maiores de Pt nas camadas de 0,00 a 0,05 m, estão relacionados com maior teor de material orgânico e atividade biológica presentes.

A Tabela 8, ilustra a microporosidade (Mi) em função do preparo do solo, em relação a cobertura e as diferentes camadas do solo estudadas.

Tabela 8 - Microporosidade em cm³ cm⁻³, em função do preparo do solo, em relação a cobertura e as diferentes camadas do solo estudadas. Cachoeira do Sul, 2021.

(continua)

	Escarificado	Não escarificado
	0 a 5	
Aveia	0,38 aA	0,38 aA
Azevém	0,37 abA	0,37 abA
Azevém e Aveia	0,35 abcB	0,38 aA
Azevém e Trevo	0,38 aA	0,36 abcA
Pousio	0,33 cA	0,32 cA
Trevo	0,34 bcA	0,34 bcA
	5 a 10	
Aveia	0,32 aA	0,33 aA
Azevém	0,32 aA	0,32 aA
Azevém e Aveia	0,33 aA	0,31 aA
Azevém e Trevo	0,32 aA	0,32 aA
Pousio	0,31 aA	0,32 aA
Trevo	0,31 aA	0,32 aA
	10 a 15	
Aveia	0,31 aA	0,31 aA
Azevém	0,30 aA	0,31 aA
Azevém e Aveia	0,30 aA	0,30 aA
Azevém e Trevo	0,30 aA	0,30 aA

Tabela 8 - Microporosidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em função do preparo do solo, em relação a cobertura e as diferentes camadas do solo estudadas. Cachoeira do Sul, 2021.

		(conclusão)
Pousio	0,30 aA	0,30 aA
Trevo	0,30 aA	0,30 aA
15 a 25		
Aveia	0,33 aA	0,29 abB
Azevém	0,31 aA	0,30 abA
Azevém e Aveia	0,32 aA	0,28 bB
Azevém e Trevo	0,31 aA	0,30 abA
Pousio	0,30 aA	0,33 aA
Trevo	0,30 aA	0,30 abA
CV 1 (%)		10,31
CV 2 (%)		7,75

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

Na camada de 0,00 a 0,05 cm, o tratamento do consórcio azevém e aveia, juntamente com a escarificação, reduziu a M_i , em relação à área não escarificada. Nesta mesma camada, nas áreas que receberam escarificação, a implantação da planta de cobertura aveia, e o consórcio azevém e trevo, aumentaram a M_i para $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Conforme Moraes et al. (2020), ao estudar o impacto da compactação do solo no crescimento radicular de soja em um Latossolo, evidenciaram que a escarificação do solo aumenta a densidade do comprimento da raiz, o que pode ter contribuído para os resultados encontrados para a cultura do trevo. Nas áreas não escarificadas, a aveia e o consórcio azevém e aveia aumentaram a M_i para $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto o pousio diminuiu para $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Machado et al. (1996), em seu estudo sobre os parâmetros físicos em solo de terras baixas, constatou uma redução de 0,91 vezes nos valores médios da microporosidade do solo após a escarificação.

Nas camadas, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,15, não houve diferença entre o preparo do solo e tipo de cobertura utilizado. Na camada de 0,15 a 0,25, o tratamento consórcio azevém e aveia, e aveia sozinha, juntamente com a escarificação aumentou a M_i para 0,32 e $0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, em relação a área não escarificada, $0,28$ e $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente. Nesta camada, na área não escarificada, o tratamento pousio, apresentou a maior M_i em relação à implantação do consórcio azevém e aveia. Na área escarificada, não houve diferença entre as coberturas do solo.

Os valores de macroporosidade (Ma), em comparação entre os fatores de cobertura do solo, são exibidos na Tabela 9.

Tabela 9 - Macroporosidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ em comparação entre as plantas de cobertura. Cachoeira do Sul, 2022.

Cobertura do solo	
Aveia	0,03 ab
Azevém	0,04 ab
AzevémxAveia	0,03 b
AzevémxTrevo	0,04 ab
Pousio	0,03 ab
Trevo	0,04 a
CV 1 (%)	1,09
CV 2(%)	0,94

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

O tratamento com a inserção do trevo como cobertura do solo, se diferiu com uma Ma maior de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, do tratamento azevém e aveia, com $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Contudo, de maneira geral, os demais tratamentos não apresentaram alterações significativas neste atributo. Segundo Bertollo et al. (2021) uma melhoria no atributo físico relativo aos macroporos são melhores evidenciados em um período de dois anos, em função de uma associação com o processo de secagem e umedecimento do solo com a cobertura morta e as raízes de pré-cultivos.

Os valores de macroporosidade (Ma), em função do preparo do solo em diferentes camadas, são exibidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Macroporosidade em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, em função do preparo do solo em diferentes camadas estudadas. Cachoeira do Sul, 2022.

Camadas	Escarificado	Não escarificado
0 a 5	0,08 aA	0,05 aB
05 a 10	0,04 bA	0,03 bB
10 a 15	0,02 cA	0,02 bA
15 a 25	0,01 cA	0,01 bA
CV 1 (%)		1,09
CV 2(%)		0,94

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: (Autor, 2022)

Nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, houve diferença entre o preparo do solo, onde os valores de M_a foram maiores, respectivamente, 0,08 e 0,04 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, na área escarificada em relação a área não escarificada, 0,05 e 0,03 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Nas demais camadas não houve diferença entre a escarificação e não escarificação do solo. Segundo Giacomeli (2017) maior M_a na camada superficial dos solos está relacionada com melhorias na estrutura do solo, causadas pelo material orgânico e raízes das culturas inseridas neste meio. Assim como, maiores valores de macroporosidade nas primeiras camadas 0,00 a 0,10 m, expressam a eficiência das práticas de mobilização do solo e a formação de poros, designados às trocas gasosas, desenvolvimento radicular e infiltração da água (JUNIOR et al., 2012).

Vale ressaltar que, apesar do trevo-persa ser uma alternativa promissora em áreas de terras baixas, por possuir adaptação ao excesso hídrico, alta capacidade de produção de biomassa e contribuir para o aporte N ao solo, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada na cultura subsequente (WEINERT, 2021), ainda é restrito na bibliografia sobre seu efeito diante das características físicas do solo.

Como foi visto, não foi verificado efeito significativo da escarificação sobre a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade para fator preparo do solo. Esses resultados podem ter ocorrido devido a uma possível irregularidade nos perfis de mobilização do solo em função do alto teor de silte, associado a condição de umidade, e a profundidade de trabalho muito próxima a crítica, o que demandaria o emprego de regulagens específicas para o espaçamento entre hastes do escarificador nestas condições. Conforme Godwin (2007) o espaçamento entre as hastes pode afetar o padrão de mobilização, sendo que, em um solo franco-arenoso, este deve ser de 1,5 vezes a profundidade de trabalho para um adequado trabalho. O autor destaca ainda que aproximar ou distanciar demasiadamente as hastes reduz a mobilização, devido a redução da largura de trabalho para a primeira e a presença de grandes regiões não mobilizadas entre hastes para a segunda.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições deste trabalho, conclui-se que:

A descompactação mecânica do solo e biológica reduziram em 42,95 % os valores de resistência a penetração, principalmente até a profundidade de trabalho regulada (0,25 m), pois em todas as camadas estudadas, exceto na camada de 0,00 a 0,05 m, houve redução da RP com o manejo da escarificação. Sendo as culturas do azevém solteiro e em consórcio com trevo persa, com melhor desempenho em reduzir essa variável.

A aveia, independente da mobilização ou não do solo, reduziu o valor de densidade e aumentou a porosidade total do solo.

A escarificação do solo juntamente com o consórcio azevém e aveia, na camada de 0,00 a 0,05 m, diminuíram a microporosidade do solo. Em profundidade, na camada de 0,15 a 0,25 m, onde não ocorreu escarificação do solo, o consórcio azevém e aveia.

O trevo persa foi o tratamento que proporcionou maior macroporosidade no solo. E a escarificação do solo foi responsável por aumentar a macroporosidade do solo até os 0,10 m.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Silvano *et al.* Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ÁLVAREZ, Carina *et al.* Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. **Ciencia del Suelo**. 2009;27:159-169.
- ANSCHAU, Katiely Aline *et al.* Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 2018.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas. Barueri. Manole LTDA.**, 1990. 307p.
- BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. **Soil Science**, Baltimore, v.78, n.2, p.205-10, 1954.
- BERTOLLO, Altamir Mateus *et al.* Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil, **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 1-11 2021.
- BIANCHINI, Aloisio *et al.* Comportamento operacional de um escarificador de Hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 395-401, 1999.
- BUSSCHER, W. J. *et al.* Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, p. 49-57, 2002.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.
- COLET, Marcelo *et al.* Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 2, 361-368, 2009.
- COLLARES, Gilberto *et al.* Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 41, n. 2, p. 246-250, 2011.
- COSTA, Nelson *et al.* **Trevo-persa-uma forrageira de duplo propósito**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, p. 1-3. INSS 18069185
- DRESCHER, Marta *et al.* Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **R. Pesq. agropec. bras.** 2016, v. 51, p.159-168.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013.

FIN, Silvana *et al.* Duration of the effects of scarification and raised bed associated with vegetation cover on soybean yield on an Alfisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 53, p. 1230-1238, 2018.

FIN, Silvana Spaniol. **Manejo do solo e plantas de cobertura de inverno para o cultivo da soja em área de arroz irrigado**. 2017. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

FONTANELI, Renato *et al.* Gramíneas Forrageiras Perenes de Inverno. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na Região Sul-Brasileira**, v. 2, p. 219-227, 2012.

GIACOMELI Robson *et al.* Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **R. Pesq. agropec. bras**, v. 51, p 261-270, 2016.

GIACOMELI, Robson *et al.* Physical Properties and Crop Management for Corn in an Albaqualf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-14, 2017.

GIACOMELI, Robson. **Sistemas de implantação de milho em Planossolos do Rio Grande do Sul**. 2015. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

GODWIN, R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil and Tillage Research**, v.97, p.331-340, 2007.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. 1999. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 201.

GOMES, Agenor. da Silva *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. 40p.

GONÇALVES, Wainer G. *et al.* Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 67-75, 2006.

GUBIANI, Paulo *et al.* Transpiration reduction fator and soybean yield in low land soil with ridge and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-14, 2018.

GUEDES, Filho O. *et al.* Tormena, Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage, **Geoderma**, v. 204–205, p. 94-101, 2013.

GROHS, M. **Emissão de gases de efeito estufa, ciclagem de nutrientes e produtividade de arroz irrigado em função de manejos pós-colheita e plantas de cobertura**. 2018. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

HOWARD, Taylor; ROBERSON, Howard; PARKER, Jessie. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, 1996, v. 102, p. 18-22.

IRGA, 2020. **Boletins de Resultados da Lavoura de Arroz-Safra 2019/2020**. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202008/19144808-boletim-de-resultados-da-lavoura-safra-2019-2020-irga.pdf>. Acesso em: 02 julh. 2021.

IRGA, 2021. **Boletins de Resultados da Lavoura de Arroz-Safra 2020/2021**. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202109/27151231-boletim-de-resultados-da-safra-2020-2021-compressed.pdf>. Acesso em: 02 julh. 2021.

JIMENEZ, Rodrigo. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, n.2, p.116–121, 2008.

JUNIOR, Darci; BADINELLI, Pablo.; MARCHEZAN, Enio. **Compactação do solo: um dos grandes desafios para o cultivo da soja em terras baixas**. Circular técnica n. 005, Instituto Rio Grandense do Arroz-IRGA, 2020.

KLUTHCOUSKI, João *et al.* **Integração lavoura -pecuária e o manejo de plantas daninhas**. Potafos: ENCARTE TÉCNICO, Potafos, Ia - Brasil, 2004.

KOCHHANN, Rainoldo Alberto; DENARDIN, José Eloir. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo, Embrapa – CNPT, 2000. 36 p.

MACHADO, Roberto *et al.* Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 2, n. 3, 1996.

MARCHESAN, Enio. 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, p. 1628-1637.

MARCHESAN, Enio. Desenvolvimento de tecnologias para cultivo de soja em terras baixas. RECoDAF– **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 1, p. 4-19, jan./jun. 2016.

MORAES, Moacir *et al.* Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil, **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 1-14, 2020.

MUNARETO, Janete. *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.

NICOLOSO, Rodrigo *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, p.1723- 1734, 2008.

NUNES, Márcio *et al.* Dynamic changes in compressive properties and crop response after chisel tillage in a highly weathered soil, **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 183-190, 2019.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las máquinas agrícolas y su aplicación**. Madrid, Mundi-prensa, ed. 5, p.1995.465.

- PEDROTTI, A. *et al.* Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001.
- PINTO, Carlos. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de
- PINTO, Luiz Fernando *et al.* **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. In: GOMES, A. da S., e MAGALHÃES JR., A. M. Editores técnicos. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 75-95, 2004.
- REICHERT, José Miguel. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Res.**, v. 102, p. 242-254, 2009.
- SARTORI, Gerson M. S. Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50, 1139-1149, 2015.
- SCHOENFELD, Rodrigo. **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.
- SICZER, Anna; LIPIEC, Jerzy. 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.
- SILVA, Paulo Régis *et al.* **Milho no contexto da lavoura arrozeira: manejos dos fatores relacionados à planta e viabilidade financeira**. Circular técnica n. 008, Instituto Rio Grandense do Arroz-IRGA, 2020.
- SILVA, Samala *et al.* Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Braz. J. Soil Sci.**, v. 36, p. 547-555, 2012.
- SILVEIRA, Sérgio *et al.* Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1854-1867, 2012.
- 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.
- 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.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: SOSBAI, 2018; 192p.
- STRECK, E.V *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p

VEDELAGO, Anderson *et al.* **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arrozeira do Rio Grande do Sul.** 1 ed. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz; 2012.

VERNETTI, Francisco *et al.* Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Agrocência.** v. 15, n. 4, p. 37-42,2009.

WEINERT, Cristiano. **Manejo do trevo persa e da adubação nitrogenada para o arroz irrigado: dinâmica de nutrientes no solo e resposta de plantas.** 2021. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) -Universidade Federal de Pelotas.