

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

Gabriel Donato

**MANEJOS DO SOLO E USO DE CALCÁRIO PARA CULTIVO DE
SOJA EM PLANOSSOLO**

**Santa Maria, RS
2019**

Gabriel Donato

**MANEJOS DO SOLO E USO DE CALCÁRIO PARA CULTIVO DE SOJA EM
PLANOSSOLO**

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

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS
2019

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

Donato, Gabriel
Manejo do solo e uso de calcário para cultivo de soja em Planossolo / Gabriel Donato.- 2019.
67 p.; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan
Coorientadores: Ubirajara Russi Nunes, Leandro Souza da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2019

1. Glycine max 2. Escarificação 3. Gradagem 4. Calagem
5. Planossolo I. Marchesan, Enio II. Russi Nunes, Ubirajara III. Souza da Silva, Leandro IV. Título.

© 2019

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

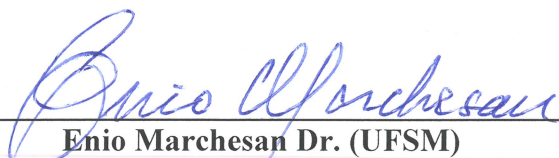
E-mail: gabriel.donato@hotmail.com

Gabriel Donato

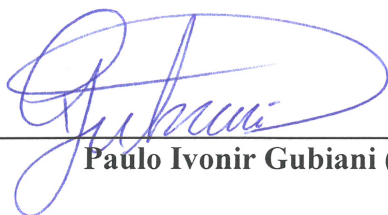
**MANEJOS DO SOLO E USO DE CALCÁRIO PARA CULTIVO DE SOJA EM
PLANOSSOLO**

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

Aprovado em 30 de julho de 2019:



Enio Marchesan Dr. (UFSM)
(Orientador/presidente)



Paulo Ivonir Gubiani (UFSM)



Paulo Regis Ferreira da Silva (UFRGS)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a meus familiares, em especial ao
meu pai Audi José Donato, à minha mãe Zélia
Simonetti Donato e a minha irmã Ana Paula Donato
por todo o apoio, incentivo e carinho recebidos durante
o percurso dessa jornada.*

AGRADECIMENTOS

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

Aos meus pais, Audi José Donato e Zélia Simonetti Donato, pelo exemplo de honestidade e perseverança, bem como, pelo empenho em possibilitar-me condições para continuar os estudos, sendo que em muitas vezes tiveram que abdicar alguns de seus próprios sonhos.

A comissão orientadora, aos professores Ubirajara Russi Nunes, Leandro Souza da Silva e em especial ao professor Enio Marchesan, pelo exemplo de dedicação profissional, pelos ensinamentos, orientação e, principalmente, amizade construída ao longo desses sete anos de convívio.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino de qualidade, e à Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas de pós-graduação, Mara Grohs, João Ângelo Silva Nunes, Daivyd Silva de Oliveira, Lucas Lopes Coelho, Bruno Behenck Aramburu, Camille Flores Soares, Luis Fernando Siqueira e Caren da Rosa pela convivência, troca de experiências e auxílio na condução dos trabalhos.

A todos os colegas do GPai, obrigado pela amizade, pelas aprendizagens, pela troca de experiências. Agradeço especialmente ao bolsista Augusto Dubou Serafin pelo auxílio na condução do projeto. Agradeço também aos colegas Alisson Guilherme Fleck, Matias Henrique Prochnow, Uashington da Silva Riste, Oscar Jaboski Groth, Bruno Garlet Ceretta, Mariana Miranda Wruck, e Andrei Dobner, meu muito obrigado, sem a ajuda de vocês com certeza não teríamos êxito na conclusão dessa etapa.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFSM, muito obrigado. Agradeço ao professor Fernando Teixeira Nicoloso, e especialmente aos colegas e amigas Raissa Schwalbert e Camila P. Tarouco, pelo auxílio nesses trabalhos.

Aos ex-colegas de GPAI, Lillian Matias de Oliveira, Robson Giacomeli e Alana C. D. Wadscheer pelos ensinamentos e pela amizade construída nesses anos de convívio.

À comissão examinadora, Enio Marchesan, Paulo Ivonir Gubiani e Paulo Regis Ferreira da Silva pelas contribuições no trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia João Colpo pelo auxílio na disponibilidade de equipamentos.

A todos o meu **MUITO OBRIGADO!**

*“Nunca se afaste dos seus sonhos. Porque se eles
forem, você continuará vivendo, mas terá deixado de
existir”*

(Charles Chaplin)

RESUMO

MANEJOS DO SOLO E USO DE CALCÁRIO PARA CULTIVO DE SOJA EM PLANOSSOLO

AUTOR: Gabriel Donato
ORIENTADOR: Enio Marchesan

No estado do Rio Grande do Sul o monocultivo de arroz irrigado nas áreas de terras baixas, está sendo prejudicado pelo acréscimo nos custos de produção, principalmente para controlar plantas daninhas, e pela estagnação da produtividade. A rotação de culturas é uma estratégia a ser adotada nesse ambiente. A soja é uma cultura que pode ser manejada em rotação com arroz irrigado. Entretanto, em diversas dessas áreas ocorre drenagem deficiente, baixa condutividade hidráulica e camada compactada próxima à superfície do solo, fatores esses considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas ditas de sequeiro, com repercussão na redução de produtividade. Estes estresses podem reduzir significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas de soja através da limitação de processos fisiológicos importantes como, por exemplo, a fotossíntese e a fixação biológica de nitrogênio. Em vista do exposto, o trabalho teve como objetivo determinar a influência de diferentes manejos de solo e da calagem nos atributos físicos do solo, nas características agronômicas e fisiológicas e no rendimento de grãos de soja em terras baixas. O experimento foi conduzido nas safras agrícolas 2017/18 e 2018/19, na área experimental do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPai) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria-RS. Foi utilizado, o delineamento de blocos ao acaso compondo um fatorial 4×2 , com quatro repetições. O Fator A foi composto por sistemas de preparo do solo: (A1) semeadura direta; (A2) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (safra 2017/18) e grade aradora a 0,15 m de profundidade (safra 2018/19); (A3) uma passada de escarificador a 0,30 m de profundidade e (A4) duas passadas de escarificador de forma cruzada a 0,30 m de profundidade, e o fator D, com e sem uso de calcário. Com base nos principais resultados obtidos, observa-se que os benefícios do uso de calcário em área de terras baixas, com presença de camada compactada em subsuperfície, permanecem restritos até a profundidade de 0-0,10 m, independentemente do uso de grade niveladora, grade aradora ou escarificação do solo, 120 dias após a aplicação do corretivo. Os manejos com escarificação do solo aumentaram a macroporosidade, e reduziram a densidade e a resistência à penetração mecânica do solo na camada de 0-0,30 m de profundidade. A escarificação simples e escarificação cruzada, juntamente com a grade aradora, resultaram em maior desenvolvimento do sistema radicular, massa seca de nódulos, massa seca da parte aérea, estatura de plantas e teor de macronutrientes no tecido foliar e maior produtividade da cultura da soja em área de terras baixas, devido a menor restrição da taxa fotossintética.

Palavras-chave: *Glycine max*, escarificação, gradagem, calagem, planossolo, produtividade

ABSTRACT

SOIL MANAGEMENT AND USE OF LIMESTONE FOR PLANTOSOL SOY CULTIVATION

AUTHOR: Gabriel Donato

ADVISOR: Enio Marchesan

In Rio Grande do Sul State, flooded rice monoculture in lowland areas is being diffculted due to the increase of production costs, mainly by weeds control and yield stagnation. Crop rotation is a strategy to be adopted in this environment. Soybean is a crop that can be managed in rotation with irrigated rice. However, these areas are characterized by poor drainage, low hydraulic conductivity and compacted layer near to the soil subsurface, factors considered limiting to the development of rainfed plants, with direct repercussions on yield reduction. These stresses can significantly reduce the growth and development of soybean plants, limited by important physiological processes, such as, photosynthesis and biological nitrogen fixation. In view of the above, the objective of this work was to evaluate the influence of different soil management and liming on soil physical attributes, agronomic and physiological characteristics and soybean grain yield in lowland areas. The experiment was conducted in the 2017/18 and 2018/19 growing seasons, at the experimental field of the Irrigated Rice Research Group (GPai) of the Federal University of Santa Maria (UFSM), in Santa Maria-RS. The experimental design was randomized complete block in a 4×2 factorial with four replications. Factor A consisted of tillage systems: (A1) no-tillage; (A2) spring disc harrowing with 0.08 m depth (2017/18 harvest) and harrow plow with 0.15 m depth (2018/19 harvest); (A3) deep tillage with 0.30 m depth and (A4) double deep tillage with 0.30 m depth; and factor D, limestone use or not. According with the main results obtained, can be observed that the benefits of limestone use in lowland areas, with presence of subsurface compacted layer, remain restricted to the depth of 0-0.10 m, regardless of spring disc harrowing, harrow plow or deep tillage use, 120 days after the application of the concealer. Deep tillage management increased macroporosity and reduced soil density and mechanical penetration resistance in the 0-0.30 m depth layer. Deep tillage and double deep tillage, together with the plow harrow, resulted in higher root system development, nodule dry mass, shoot dry mass, plant height and macronutrient content in leaf tissue and higher grain yield in lowland areas, due to the smaller restriction of photosynthetic rate.

Keyword: Glycine max, scarification, harrowing, liming, alfisols, productivity

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 – pH em água, saturação por alumínio (Al) e teor de cálcio (Ca) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m para os manejos com e sem a aplicação de calcário nas safras de 2017/18 (A, C e E) e 2018/19 (B, D e F) em área de terras baixas. Santa Maria, RS. 2019..... 32
- Figura 2 – Teor de magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m para os manejos com e sem a aplicação de calcário nas safras de 2017/18 (A, C e E) e 2018/19 (B, D e F) em área de terras baixas. Santa Maria, RS. 2019..... 33
- Figura 3 – Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica para os manejos de semeadura direta (A, B), grade niveladora a 0,1 m de profundidade (C), grade aradora (D), escarificação simples a 0,35 m de profundidade (E, F) e escarificação cruzada a 0,35 m de profundidade (G, H) em área de terras baixas. Umidade volumétrica na camada de 0,3 m de 0,32 m³m⁻³ para as safras 2017/18 (A, C, E e G) e 2018/19 (B, D, F, H) respectivamente. Santa Maria, RS. 2019. 35
- Figura 4 – Distribuição do sistema radicular da soja em função de manejos do solo: semeadura direta (A) grade niveladora a 0,1 m de profundidade (B), escarificação simples a 0,35 m de profundidade (C) e escarificação cruzada a 0,35 m de profundidade (D) em área de terras baixas para a safra de 2017/18. Santa Maria, RS. 2019. 36

CAPÍTULO II

- Figura 1 – Resistência mecânica do solo à penetração 10 dias antes da semeadura da soja em função da utilização de manejos de solo em área de terras baixas nas safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Santa Maria, RS. 2019. (SD) semeadura direta, (GN) grade niveladora, (GA) grade aradora, (ES) escarificação simples, (EC) escarificação cruzada. Umidade volumétrica de 0,32 m³m⁻³..... 43
- Figura 2 – Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2017/18 (A) e 2018/19 (B) na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2019. (MS+C) manejos do solo e aplicação de calcário; (S) semeadura; (V6 e R2) estádios de desenvolvimento da cultura representando as épocas de avaliações; (I) Infra Red Gas Analyzer (IRGA); (C) colheita. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 567 e 888 mm para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente. 44

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo dez dias após a semeadura da soja em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019..... 32
- Tabela 2 – Comprimento (C), área superficial (AS), volume relativo (VR) e diâmetro médio (DM) das raízes de soja nos estádios fenológicos V6 e R2 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019. 35
- Tabela 2 – Teor de nitrogênio (N), fósforo (P), e potássio (K) no tecido foliar das plantas de soja nos estádios fenológicos V6 e R2 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019..... 36

CAPÍTULO II

- Tabela 1 – Argila, $pH_{\text{água}}$, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) matéria orgânica (MO) e saturação por alumínio (Al) para as camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, e 0,20-0,30 m de profundidades nas safras de 2017/18 e 2018/19..... 40
- Tabela 2 – População inicial de plantas (PIP), massa seca de nódulos (MSN), massa seca de raízes (MSR) e comprimento radicular (CR) das plantas de soja nos estádios fenológicos V6 e R2 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz irrigado com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019..... 45
- Tabela 3 – Taxa líquida de assimilação de carbono (A), condutância estomática (gs), concentração intracelular de CO_2 (Ci), taxa de transpiração (E) e eficiência do uso da água (EUA) em folhas de soja aos 38, 45 e 52 dias após a emergência (DAE) em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de terras baixas com camada compactada na safra 2017/18. Santa Maria, RS. 2019 47
- Tabela 4 – Massa seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF), estatura de plantas (EP) nos estádios fenológicos V6 e R2 e rendimento de grãos (RG) da soja em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz irrigado com camada compactada nas safras 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019 49

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1** – Detalhe do preparo dos manejos: semeadura direta sem calcário (A1) e com calcário (A2), grade niveladora (B), grade aradora (C) e escarificação (D)..... 64
- Apêndice 2** – Planta de soja aos 60 DAE no manejo de semeadura direta (A1) e escarificação simples (A2), e raízes de soja 90 DAE no manejo de semeadura direta (B1) e no escarificado simples (B2). 65

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Normas para a submissão do artigo I na revista Bragantia.....	66
Anexo B – Normas para a submissão do artigo II na Revista Brasileira de Ciências Agrárias..	67

LISTA DE ABREVIATURAS

A – taxa líquida de assimilação de carbono
Al – alumínio
AS – área superficial
C – comprimento
Ca – cálcio
CC – com calcário
Ci- concentração intracelular de CO₂
CQFS – comissão de química e fertilidade do solo
CR – comprimento radicular
CTC – capacidade de troca de cátions
CV – coeficiente de variação
DAE – dias após a emergência
DM – diâmetro médio
DS – densidade do solo
E – taxa de transpiração
EC – escarificação cruzada
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EP – estatura de plantas
ES – escarificação simples
EUA – eficiência do uso da água
GA – grade aradora
GN – grade niveladora
Gs – condutância estomática
IAF – índice de área foliar
IRGA – Infra Red Gas Analyzer
K – potássio
LAS – Laboratório de Análise de Solos
MA – macroporosidade
MF – Massey Ferguson
Mg – magnésio
MI – microporosidade
MO – matéria orgânica
MPa – megapascal
MSN – massa seca de nódulos
MSPA – massa seca da parte aérea
N – nitrogênio
P – fósforo
PIP – população inicial de plantas
PRNT – poder relativo de neutralização total
Prod. – produtividade
PT – porosidade total
SC – sem calcário
SD – semeadura direta
RG – rendimento de grãos
SYN – Syngenta
UFMS – Universidade Federal de Santa Maria
VR – volume de raiz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 CAPÍTULO I (ARTIGO CIENTÍFICO)	18
MANEJOS DE SOLO E USO DE CALCÁRIO NA MELHORIA FÍSICA E QUÍMICA DE TERRAS BAIXAS PARA A SOJA	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
4 CAPÍTULO II (ARTIGO CIENTÍFICO)	43
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA SOB MANEJOS DO SOLO E USO DE CALCÁRIO EM TERRAS BAIXAS	43
RESUMO:	43
ABSTRACT:	43
INTRODUÇÃO	44
MATERIAL E MÉTODOS	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6 CONCLUSÕES	62
APÊNDICES	64
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

As áreas de terras baixas do Estado do Rio Grande do Sul são predominantemente utilizadas para a cultura do arroz irrigado. Anualmente, próximo a um milhão de hectares são destinados para esse cultivo. Entretanto, nas últimas safras vem sendo realizada a rotação de culturas com soja. A introdução dessa leguminosa nessas áreas visa a redução de plantas daninhas já resistentes aos herbicidas comumente utilizados na lavoura orizícola, como nos casos do arroz-daninho e do capim arroz. No entanto, a produção de soja nesse ambiente é cercada de desafios, os quais atualmente são responsáveis por manter a produtividade média dessas áreas em torno de $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (IRGA, 2019), aproximadamente 40% menos que a média das áreas de terras altas do estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2019). Nessas áreas, limitações de ordem química, associada à desestruturação física desses solos, são algumas das características que reduzem a produção de culturas de sequeiro.

Um dos principais fatores que restringem a produtividade da soja nesse ambiente, está relacionado à compactação em subsuperfície. O adensamento mais pronunciado é causado pela associação das características naturais desses solos a algumas práticas de preparo das áreas, como gradagem e aplainamento, realizadas muitas vezes sob teor de umidade inadequado. Essa característica é importante para a retenção de água no cultivo do arroz, porém indesejada para a cultura da soja. Nesse sentido, o aumento da densidade tende a agravar problemas relacionados à estrutura do solo, resultando em redução da macroporosidade e, conseqüentemente, da aeração e infiltração de água no solo. Como resultado dessas alterações, podem-se destacar as frequentes oscilações entre períodos de déficit de oxigênio e de déficit hídrico.

Quanto às limitações químicas do solo, grande parte das áreas apresenta pH baixo ($\text{pH} \leq 5,0$), baixos níveis de matéria orgânica, fósforo e potássio, além de saturação por alumínio ($> 10\%$). O alumínio restringe o crescimento radicular, forçando as raízes a desenvolverem-se em camadas mais superficiais e, conseqüentemente, tornam as plantas mais suscetíveis aos períodos de estiagem. Sendo assim, a adoção de estratégias que reduzam estes impactos é uma forma de promover melhor desenvolvimento das plantas. A calagem é uma prática eficiente para elevar o pH, os teores de Ca e Mg, a saturação por bases e a disponibilidade de P e para reduzir o Al tóxico no solo. No entanto, o cálcio é pouco móvel, sendo dependente das condições físicas do solo (textura, estrutura e bioporos), geralmente apresentando seus efeitos benéficos, próximo aos primeiros centímetros, a partir da profundidade em que é depositado.

Sendo assim, quando a compactação torna-se limitante ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas, medidas mitigatórias são necessárias. Desse modo, práticas de manejo que minimizem os efeitos adversos da desestruturação do solo, associadas à sua correção química, podem ser exploradas como fatores cruciais para que se tenha um cultivo rentável e com menores riscos nessas áreas de terras baixas. Algumas dessas práticas, como escarificação, gradagem e calagem têm a vantagem de serem realizadas antes da semeadura, em período com menor demanda de mão de obra e máquinas na propriedade.

As hipóteses do trabalho são: os manejos com escarificação e gradagem do solo são eficientes na redução da resistência à penetração e na incorporação do calcário, proporcionando maiores crescimento de raízes, nodulação e rendimento de grãos de soja e que a calagem minimiza os efeitos por estresses químicos e aumenta o crescimento radicular e o rendimento de grãos de soja.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivos: a) avaliar o efeito de manejos do solo nos atributos físicos e na incorporação de calcário dolomítico em profundidade, em soja cultivada em área de terras baixas (Capítulo I) e b) avaliar a influência de manejos do solo e uso de calcário dolomítico no desenvolvimento de planta e no rendimento de grãos de soja cultivada em áreas de terras baixas (Capítulo II).

2 CAPÍTULO I (Artigo Científico)

Manejos de solo e uso de calcário para a soja em Planossolo

RESUMO

A presença de camada compactada próxima à superfície do solo em áreas de cultivo de arroz irrigado, associado a pH baixo, podem reduzir o desenvolvimento das plantas de soja. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de manejos do solo na redução da resistência mecânica à penetração e na incorporação de calcário dolomítico em profundidade, em áreas de terras baixas cultivadas com soja. O experimento foi conduzido nas safras 2017/18 e 2018/19. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em fatorial 4×2. O fator A ((A1) semeadura direta; (A2) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (2017/18) e grade aradora a 0,15 m de profundidade (2018/19); (A3) uma passada de escarificador a 0,30 m de profundidade e (A4) duas passadas de escarificador em sentido cruzado a 0,30 m de profundidade e o fator D, com e sem uso de calcário dolomítico). Para as variáveis analisadas não houve interação de manejos de solo e aplicação ou não de calcário. O uso de calcário aumentou o pH e os teores de cálcio e magnésio na camada de 0,10 m, mas não alterou a condição química original do solo a partir desta profundidade, independentemente do manejo de solo adotado. Os manejos com escarificação, aumentaram a macroporosidade e reduziram a densidade e a resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0-0,30 m de profundidade. Esses mesmos manejos, juntamente com a grade aradora, aumentaram os teores de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar das plantas de soja.

Palavras-chave: *Glycine max*, compactação, escarificação, gradagem, calagem.

Soil management and limestone use in soybean in lowlands

ABSTRACT

The presence of a compacted layer near the soil surface in areas sown with flooded rice, associated with low pH, may reduce the soybean plants development. Thus, this work aimed to evaluate the effects of soil management on the reduction of mechanical penetration resistance and the deep incorporation of dolomitic limestone in lowland areas cultivated with soybean. The experiment was conducted in the 2017/18 and 2018/19 growing season. The experimental design was randomized complete block in factorial 4×2 , with four replications. Factor A: (A1) no-till; (A2) spring disc harrowing with 0.08 m depth (2017/18) and harrow plow with 0.15 m depth (2018/19); (A3) deep tillage with 0.30 m depth and (A4) double deep tillage with 0.30 m depth; and factor D, limestone use or not. For variables analyzed, there was no interaction of soil management and limestone use. The use of limestone increased the pH and the calcium and magnesium contents in the 0.10 m layer, but did not modify the original soil chemical condition from this depth, regardless of the soil management adopted. Deep tillage management, increased macroporosity and reduced soil density and mechanical resistance to penetration in the 0-0.30 m layer. These same managements, together with the plow harrow, increased the nitrogen, phosphorus and potassium contents in the leaf tissue of soybean plants.

Keywords: *glycine max*, compaction, deep tillage, harrowing, liming.

1 INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Sul (RS), cerca de 19% da área é formada por terras baixas, favoráveis ao cultivo do arroz irrigado, sendo semeado na última safra (2018/19) em torno de 983 mil hectares (IRGA, 2019). Entretanto, o monocultivo de arroz nestas áreas vem selecionando biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas utilizados na cultura do arroz, aumentando os custos de produção, com redução da renda líquida obtida na lavoura

orizícola (EMBRAPA, 2017). Nesse contexto entra a cultura da soja em rotação com o arroz que é uma alternativa eficiente para controle de plantas daninhas, além de diversificar a renda da propriedade (ZEMOLIN et al., 2014).

No entanto, o cultivo da soja em terras baixas é considerado uma atividade de alto risco, em virtude dos estresses encontrados neste ambiente. Nessas áreas, os níveis naturais baixos de fertilidade e a compactação do solo são algumas das condições que restringem a produção de culturas ditas de sequeiro quando cultivadas neste ambiente. As limitações físicas são provenientes da maior resistência à penetração, resultante da elevada densidade e baixa macroporosidade do solo (GIACOMELI et al., 2016). Essas características fazem com que os solos sejam mal drenados e apresentem baixa infiltração, o que favorece a ocorrência de estresses hídricos e reduz a disponibilidade de nutrientes (SANTOS et al., 2013; CALONEGO et al., 2011).

Quanto às propriedades químicas do solo, apresentam pH em água $\leq 5,0$, baixos teores de matéria orgânica e níveis baixos de fósforo (P). Além disso, expressam saturação por alumínio (Al) maior que 10% em aproximadamente 40% das áreas (VEDELAGO et al., 2012). O Al limita a expansão radicular, forçando as raízes a se desenvolverem em camadas mais superficiais e, conseqüentemente, tornando as plantas mais suscetíveis aos períodos de estiagem. Para cultivo do arroz, o impacto negativo desses fatores é reduzido pela inundação do solo, a qual, através de metabolismos microbianos, promovem alterações eletroquímicas. O aumento do pH e das disponibilidades de potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), entre outros nutrientes, são algumas das alterações que contribuem para a melhoria da nutrição e da produtividade desta cultura (CARLOS et al., 2015). No entanto, essas alterações não ocorrem quando a área é cultivada com soja, em virtude da dinâmica das reações no solo ser diferente para essas duas culturas.

Sendo assim, para culturas como a soja, a calagem é uma prática eficiente para elevar o pH, os teores de Ca e Mg, a saturação por bases, a disponibilidade de P e para reduzir o Al tóxico no solo (RHEINHEIMER et al., 2018). No entanto, o calcário possui como característica a baixa mobilidade, sendo dependente das condições físicas do solo (textura, estrutura e bioporos) e, geralmente, apresenta seus efeitos benéficos próximo ao local em que é depositado.

Em áreas de terras baixas, o crescimento radicular e a migração do calcário em profundidade são prejudicados pelas características físicas encontradas neste ambiente. Assim, a correção química, sem associação a um manejo de solo, pode não ser suficiente para a melhoria do ambiente radicular neste local. Dessa forma, a escarificação do solo pode ser uma alternativa para redução da densidade e, conseqüentemente, para aumento da porosidade ao romper a camada compactada, possibilitando maior armazenamento de água no solo. Em vista disso, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de manejos do solo na redução da resistência mecânica à penetração e na incorporação de calcário dolomítico em profundidade e os efeitos sobre o desenvolvimento do sistema radicular, absorção de nutrientes pelas plantas e produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas safras agrícolas 2017/18 e 2018/19, em locais distintos de uma área experimental de terras baixas, pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS (latitude 29°43'08"S, longitude 53°43'25"W e altitude de 91 m). O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de KÖPPEN, como subtropical úmido (Cfa), sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e mínima de 14,2°C, com precipitação média anual de 1688 mm

(CLIMATE - DATA, 2019). O solo é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (SANTOS et al., 2018).

O manejo experimental da área antes da semeadura da soja para ambas as safras foi feito através da correção da superfície do solo com o auxílio do rolo-faca, gradagem e aplainamento da área. No período até os 45 dias antes da semeadura da soja, o solo estava coberto com plantas espontâneas de arroz, sendo posteriormente, realizada a dessecação da vegetação.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4×2 , com quatro repetições. O Fator A, composto por manejos de preparo do solo: (A1) semeadura direta; (A2) gradagem com grade niveladora a 0,08 m de profundidade (2017/18) e gradagem com grade aradora a 0,15 m de profundidade (2018/19); (A3) escarificação com uma passada de escarificador a 0,30 m de profundidade e (A4) escarificação com duas passadas de escarificador em sentido cruzado a 0,30 m de profundidade. As unidades experimentais mediram 10 x 6 m, totalizando uma área útil de 60 m² cada.

A correção da acidez do solo foi realizada conforme as recomendações para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016). O objetivo da aplicação de calcário foi elevar o pH do solo a 6,0, na camada de 0-0,2 m de profundidade para todos os manejos com uso do corretivo. Para isso, foi utilizado calcário com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) acima de 90%, aplicado a lanço, anterior a realização dos manejos do solo.

Os manejos com escarificação, gradagem e calcário foram realizados 43 e 30 dias antes da semeadura nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente. A escarificação foi realizada com um escarificador de cinco hastes afastadas em 0,35 m. Após, foi utilizada uma grade de dentes com o intuito de minimizar os torrões e uniformizar o solo para a semeadura da soja. Para a gradagem, na safra 2017/18 foi utilizada uma grade niveladora hidráulica com 24 discos de 20 polegadas x 4,0 mm, largura de trabalho de 2,29 m e peso de 687 kg com

profundidade de trabalho de 0,08 m. Na safra 2018/19, visando maior revolvimento do solo em profundidade foi utilizada uma grade aradora com 12 discos de 30 polegadas x 7,5 mm, largura de trabalho de 1,8 m e peso de 1877 kg, com profundidade de trabalho de 0,15 m.

A semeadura da soja (Syngenta 1561 IPRO, grupo de maturação 6.1 e hábito de crescimento indeterminado) foi realizada no dia 13 de novembro (safra 2017/2018) e no dia 02 de novembro (safra 2018/2019) com auxílio de uma semeadora adubadora pantográfica composta por seis linhas espaçadas em 0,5 m, e equipada com disco desencontrado para a deposição de sementes e disco duplo para a distribuição do adubo, na densidade de 34 sementes m².

O tratamento de sementes foi realizado com Fipronil (250 g L⁻¹) e Carbendazin + Thiram (15 + 35%), na dose de 200 mL 100 kg⁻¹. As sementes foram inoculadas com inoculante turfoso contendo estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 g 50 kg⁻¹ de sementes). A adubação de base foi constituída de 22,5 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados na linha de semeadura. No estágio fenológico V3 (Fehr & Caviness, 1977), aplicou-se em superfície mais 30 kg ha⁻¹ de K₂O.

A precipitação pluvial e temperatura média do ar, nas safras 2017/18 e 2018/19, foram obtidas da estação meteorológica automática do 8º DISME/INMET, localizada no campus da UFSM, a aproximadamente 500 m do local onde foi conduzido o experimento.

Aos 120 dias após a aplicação do corretivo correspondendo ao estágio R2 da soja, amostras de solo foram coletadas de forma aleatória dentro da área de cada tratamento, com o auxílio de um trado calador, em três camadas (0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m). Ao todo, coletou-se três amostras de solo em cada tratamento, sendo cada repetição formada por seis subamostras. As amostras foram analisadas quanto ao pH, saturação por alumínio, P, K, Ca e Mg, em cada profundidade, conforme metodologia de TEDESCO et al. (1995).

Aos 53 e 40 dias após os manejos de preparo do solo correspondente ao estágio V6 da soja para a primeira e segunda safra, respectivamente, foram coletadas amostras de solo indeformadas para determinação das propriedades físicas densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), microporosidade (M_i) e macroporosidade (M_a). As amostras foram coletadas entre as linhas de semeadura, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, utilizando anéis volumétricos de 0,04 m de altura e 0,048 m de diâmetro, de acordo com TEIXEIRA et al. (2017).

Na mesma ocasião, foi determinada a resistência mecânica a penetração, estando o solo com umidade volumétrica média na camada de 0-0,30 m de $0,32 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$. Esta avaliação foi realizada utilizando um penetrômetro digital da marca Falker, modelo PLG 1020, até à profundidade de 0,30 m.

A distribuição do sistema radicular foi avaliada somente na safra (2017/18) para os manejos de semeadura direta, grade niveladora, escarificação simples e escarificação cruzada com o uso de calcário, no estágio de desenvolvimento R2. Para isso, realizou-se a abertura de trincheiras, perpendicular a duas linhas de semeadura, onde as raízes foram expostas e fotografadas com o auxílio de um quadro de 1,0 x 0,4 m, com quadrículas espaçadas 0,05 x 0,05 m, permitindo compor os resultados de cada quadrícula em um único plano (GIACOMELI et al., 2016).

O efeito dos manejos de solo no sistema radicular das plantas foi quantificado pelas determinações de comprimento (cm), área superficial (cm^2), volume (cm^3) e diâmetro médio (mm) das raízes nos estádios fenológicos V6 e R2. Para isso, coletou-se um monólito de solo de 0,30 x 0,30 m (largura e profundidade) contendo três plantas em sequência na linha de cultivo e posterior lavagem. As variáveis citadas foram obtidas através da digitalização do sistema radicular em scanner de alta resolução (Epson Expression 11000 XL), sendo as imagens processadas no software Winrhizo PRO.

Os teores de N, P e K no tecido foliar das plantas de soja foram determinados utilizando a terceira folha totalmente expandida, do ápice para a base, de 20 plantas por unidade experimental nos estádios fenológicos V6 e R2. Posteriormente, as amostras foram processadas, seguindo a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

Os dados foram submetidos aos testes das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância foi realizada pelo teste F, e as médias dos fatores, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), usando o software Sisvar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre manejos do solo e calagem. O uso de calcário alterou as propriedades químicas do solo, independentemente do manejo de solo adotado, apenas na camada de 0-0,10 m. A calagem aumentou o pH na camada de 0-0,10 m, passando de 5,3 para 6,2 e 6,4 nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente (Figura 1). Nas camadas inferiores aos 0,1 m, não houve mudança significativa do pH cujos valores médios das duas safras foram 5,1 para a camada de 0,10-0,20 m e 4,5 para a camada de 0,20-0,30 m, mostrando que os manejos adotados não foram eficientes na incorporação do calcário em profundidade. Segundo o CQFS-RS/SC (2016), esses valores são considerados limitantes para o desenvolvimento da soja.

Esse resultado é decorrente da baixa solubilidade do calcário, somado à ineficiência na incorporação em profundidade pelos manejos testados. Sendo assim, a solubilização fica restrita a regiões próximas às partículas de calcário. Nesse sentido, a curto prazo, quando não incorporado em profundidade, o calcário apresenta seus efeitos benéficos próximos à superfície do solo, visto que a correção em profundidade é dependente das condições físicas

do solo, sendo influenciada pela passagem de água ao longo do perfil, ocorrendo de forma mais lenta (CAIRES et al., 2008).

De acordo com estudos realizados por FIDALSKI et al. (2015), quando utilizados o escarificador e a grade, seja de forma isolada ou associados, a incorporação do calcário fica restrita à camada superficial, não incorporando satisfatoriamente em profundidade. De maneira semelhante, NETO et al. (2000) verificaram que quando o calcário foi incorporado com escarificador e duas passadas com grade niveladora, os efeitos da calagem permaneceram restritos aos 0,1 m de profundidade, três meses após a aplicação do corretivo, mostrando que esses manejos não são boas alternativas quando o objetivo é atingir camadas além dos 0,1 m de profundidade neste período de tempo avaliado.

A calagem proporcionou também acréscimo nos teores de cálcio e magnésio na camada de 0-0,1 m de profundidade, sendo de 11% para o Ca, para ambas as safras, e de 22 e 16% o Mg nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente (Figuras 1 e 2). Esses aumentos de Ca e Mg estão relacionados à presença destes macronutrientes na constituição química do corretivo, sendo que a inexpressiva resposta em profundidade é atribuída à baixa incorporação do calcário no perfil do solo. Para teores de P e K para saturação por alumínio, não houve diferença para os manejos de solo e uso de calcário em nenhuma das profundidades avaliadas. A baixa saturação por alumínio próxima a zero até à camada de 0-0,10 m pode explicar a ausência de resposta ao uso do corretivo para esta propriedade química.

As propriedades físicas do solo foram alteradas pelos manejos, independentemente do uso de calcário. A área de condução do experimento possui histórico de compactação do solo em subsuperfície, como pode ser observado no manejo de SD, o qual, mantendo o estado original do solo, apresentou maior Ds e menor Ma ao longo do perfil avaliado, em ambas as safras (Tabela 1). A redução da Ma no manejo de SD pode estar relacionada aos altos valores de Ds, visto que o aumento da Ma está diretamente ligado à redução da Ds (GUBIANI et al.,

2014). O adensamento mais intenso das partículas de solo neste ambiente é decorrente de condições naturais, porém, intensificado por práticas de manejo realizadas em momentos inadequados de umidade do solo, favorecendo a formação de camada compactada (VALICHESKI et al., 2012).

Por outro lado, os manejos com escarificação, por possibilitarem maior mobilização do solo em camadas mais profundas, proporcionaram redução de 9 e 10% na Ds e aumento de 50 e 53% na Ma para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, na média da camada de 0-0,3 m de profundidade em comparação ao manejo de SD. Na camada de 0,10-0,20 m, observou-se os maiores impedimentos físicos para este ambiente no manejo de SD, resultando na maior Ds, com valores de 1,61 e 1,53 Mg m⁻³ para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, 6 e 8% superiores aos 1,51 e 1,40 Mg m⁻³ encontrados na média dos manejos com escarificação. Esses resultados corroboram com os de SARTORI et al. (2016) e GIACOMELI et al. (2016) que verificaram redução da Ds e aumento da Pt, quando comparando em terras baixas área escarificada com área sem prévio revolvimento. Com exceção da camada de 0,1-0,2 m na safra de 2017/18, a escarificação manteve os índices de Ma superiores a 10%. Por outro lado, a redução da Ma abaixo de 10% do volume total do solo, observado no manejo de SD para ambas as safras, pode prejudicar a oxigenação de raízes, visto que o fluxo de gás e o movimento da água estão intimamente relacionados com esta característica física do solo (FERREIRA, 2010).

A Mi do solo foi pouco afetada pelos sistemas de manejo avaliados, em ambas as safras, corroborando com os resultados obtidos por DRESCHER et al. (2011), que não encontraram alterações utilizando diferentes mecanismos para implantação de soja em terras baixas, visto que a Mi é mais dependente da textura do solo.

Na figura 3, para o manejo de SD o solo apresentou resistência à penetração acima de 2 MPa a partir dos 0,10 m de profundidade, para ambas as safras, valor este considerado crítico

ao desenvolvimento do sistema radicular (COLLARES et al., 2011). A resistência à penetração pode ser ainda mais agravante com a redução da umidade do solo. Em solos compactados, pela baixa infiltração de água no solo e reduzido crescimento radicular, o intervalo de água disponível para as plantas (volume entre à capacidade de campo e o ponto de murcha permanente) pode chegar a zero a curtos períodos, favorecendo o aumento da resistência à penetração (MOREIRA et al., 2014).

Assim, reduzir a resistência à penetração é uma maneira eficaz de promover melhorias para o desenvolvimento do sistema radicular. A escarificação do solo foi o manejo mais eficiente na redução da resistência à penetração, visto que seus efeitos foram observados até à profundidade de 0,30 m, para a primeira safra, e 0,25 m para a segunda, com valores inferiores a 1,5 MPa (Figura 3). Para o manejo com GN, o maior efeito esteve restrito à camada de 0,08 m de profundidade o qual reduziu a resistência à penetração para menos de 1 MPa, sendo que a partir deste ponto não houve alteração da estrutura original do solo. De forma semelhante ocorreu para a GA, entretanto, pela maior profundidade de trabalho exercida, o efeito pode ser observado até, aproximadamente, 0,15 m de profundidade.

Constatou-se que o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas foi proporcional à menor resistência à penetração do solo, visto que o crescimento radicular seguiu a área de maior mobilização do solo (Figura 4). Os manejos com escarificação do solo (ES e EC) possibilitaram melhor distribuição e crescimento do sistema radicular, viabilizando um volume expressivo de raízes até 0,25 m de profundidade. Em estudo realizado por GIACOMELLI et al. (2016), foi observado que a escarificação do solo para a cultura do milho em áreas de terras baixas, possibilitou melhor uniformidade na distribuição das raízes, com aprofundamento do sistema radicular até 0,25 m de profundidade. Com relação aos manejos de SD e GN, observa-se que o maior volume de raízes esteve restrito à camada superficial (0,1 m), próximo ao início da zona de maior resistência à penetração (Figura 4).

De maneira semelhante às variáveis de solo, os manejos influenciaram variáveis do sistema radicular. Na média entre os manejos com escarificação para ambas as safras e GA na safra 2018/19 no estádio R2, apresentaram acréscimo de 30, 24 e 15% para comprimento, área superficial e volume de raízes, respectivamente, e redução de 9% no diâmetro médio das raízes em relação ao manejo de SD (Tabela 2). O aumento da resistência à penetração causa modificações morfológicas em raízes, reduzindo a divisão celular e aumentando o diâmetro (RICHART et al., 2005). Dessa forma, esses resultados podem ser explicados pelo maior efeito desses tipos de manejo no aumento da porosidade total e da macroporosidade do solo, além da redução da resistência à penetração, conforme já mencionado. Segundo CARDOSO et al. (2006), o sistema radicular se beneficia do aumento da capacidade de oxigenação e da infiltração de água no solo, características que possivelmente foram melhoradas nesses manejos de solo.

Sendo assim, é notório que a presença de uma camada compactada localizada próxima à superfície do solo é um fator limitante para crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da soja em áreas de terras baixas. Romper parte dessa camada compactada, principalmente a camada superior, que concentra maior volume de raízes, é uma prática fundamental para promover melhor crescimento radicular.

Nesse sentido, as diferenças observadas no crescimento radicular devidas aos manejos do solo interferiram no estado nutricional das plantas. Nesse estudo, observou-se alterações nos teores de N, P e K no tecido foliar das plantas de soja em função dos manejos de solo, independentemente do uso ou não de calcário (Tabela 3). A escarificação do solo aumentou os teores desses macronutrientes avaliados em ambas as safras e nos dois estádios de desenvolvimento avaliados. Esse comportamento pode estar relacionado à menor resistência à penetração do solo (Figura 3), a qual favoreceu o desenvolvimento radicular em maior profundidade (Figura 4), disponibilizando maior quantidade de água e nutrientes às plantas.

Por outro lado, os manejos de SD e GN reduziram os teores desses de macronutrientes, sendo que os teores de N encontrados nestes manejos estão levemente abaixo da faixa considerada adequada para a cultura da soja (45 a 55 g kg⁻¹) (EMBRAPA, 2003).

De maneira semelhante, VALADÃO et al. (2017) avaliando diferentes níveis de compactação em um Latossolo, e MARCHESAN et al (2017) em Planossolo, encontraram redução linear dos teores de N e P no tecido foliar das plantas de soja com o aumento da resistência à penetração. A compactação pode influenciar o processo de nodulação da soja, visto que as bactérias responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio são organismos aeróbicos, que necessitam de condições adequadas de oxigênio para apresentar boa eficiência (VALADÃO et al. 2015). No entanto, para os manejos com SD e GN não foi observado boa aeração do solo, apresentando valores de Ma inferiores a 10%, considerados críticos à aeração do solo.

Estudos realizados por STAMMER e MALLARINO (2018) apontam correlação da produtividade com os teores de P e K no tecido foliar das plantas de soja. Segundo os mesmos autores, a faixa crítica para o maior rendimento da cultura está compreendida entre 3,5 a 4,7 e de 15,6 a 19,9 g kg⁻¹ para P e K, respectivamente. No presente estudo, na média dos dois estádios fenológicos avaliados e dos manejos de GN e SD, os valores observados de P foram de 3,4 g kg⁻¹, abaixo do limite inferior exigido para este nutriente (Tabela 3). Já para o teor de K no tecido foliar, houve acréscimo para os manejos com escarificação e GA, no entanto, os valores estiveram compreendidos entre a faixa considerada adequada para o desenvolvimento das plantas, em ambos os manejos estudados, podendo não ter sido causa para a redução de produtividade nos manejos de SD e GN.

De forma geral, as reduções da Ma e Pt e o aumento da Ds (tabela 1) repercutem em maior resistência do solo à penetração (figura 3), o que reduz e modifica o sistema radicular (VALADÃO et al., 2015) e diminui a taxa de infiltração e o fluxo de água no solo (SARTORI

et al., 2016), reduzindo, assim, a absorção dos nutrientes (VALADÃO et al., 2017; SOUZA et al., 2012). A presença dessas características pode ter sido responsável pela menor produtividade observada no manejo de SD (Tabela 3). Por outro lado, a maior produtividade foi verificada nos manejos com escarificação, juntamente com a GA na safra de 2018/19. Em média, a SD apresentou redução de 14% na produtividade em comparação aos manejos com escarificação para a primeira safra e 21% em comparação aos manejos com escarificação e GA na segunda safra. De maneira semelhante às avaliações nas plantas, a produtividade não foi afetada pelo uso de calcário.

A falta de resposta quanto ao uso de calcário para crescimento e distribuição do sistema radicular, para teores de macronutrientes no tecido foliar das plantas e a produtividade relativa de soja pode estar relacionada à baixa saturação por alumínio observada na camada de 0-0,20 m, estando abaixo do limite considerado crítico para o desenvolvimento das plantas (CQFS, 2016). Desse modo, os efeitos da calagem podem ter sido reduzidos pelos efeitos dos manejos de solo, os quais apresentaram características mais restritivas ao desenvolvimento radicular das plantas de soja.

4 CONCLUSÕES

Os benefícios do uso de calcário em área de terras baixas, com presença de camada compactada em subsuperfície, permanecem restritos até à profundidade de 0-0,10 m, independentemente do uso de grade niveladora, grade aradora ou escarificação do solo, aos 120 dias após a aplicação do corretivo.

A escarificação do solo nestas áreas é um procedimento eficaz para aumentar a macroporosidade e reduzir a densidade e a resistência à penetração mecânica, até a profundidade de 0,30 m 40 dias após o preparo dos manejos do solo.

A utilização de escarificador e grade aradora no preparo do solo aumenta o crescimento radicular, os teores de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar e o produtividade relativa de plantas de soja cultivadas em terras baixas, sendo formas de manejo eficientes para estes ambientes.

A escarificação cruzada do solo não se justifica, visto que os benefícios proporcionados por essa operação são semelhantes aos observados no manejo com escarificação simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

CALONEGO, J.C.; GOMES, T.C.; DOS SANTOS, C.H.; TIRITAN, C.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v.27, p.289-296, 2011.

CAMBRAIA, J. and CAMBRAIA, M.C. Avaliação de híbridos de milho quanto a tolerância ao alumínio, em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.42, p.297-30, 1995.

CARLOS, F.S.; MARAFON, A.J.; ANDREAZZA, R.; ANGHINONI, I.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.D.O. Alterações eletroquímicas e dinâmica de nutrientes na solução do solo em arroz irrigado com lixiviado industrial tratado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.39, p.466-474, 2015.

Climate-Data; Clima. <https://en.climate-data.org/>. 19 Jun. 2019.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.G.; KAISER, D.R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura – pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. v.41, p.246-250, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. SBCS - Núcleo Regional Sul. Porto Alegre, 2016. 394p.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Persistence of mechanical interventions effect for soil decompaction in no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1713-1722, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de soja** – Região Central do Brasil 2004. Londrina, Embrapa Soja, 2003. 237p.

FEHR, W.R. and CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. (Special Report, 80).

FIDALSKI, J.; YAGI, R.; TORMENA, C.A. Occasional Soil Turnover and Liming in a Clayey Oxisol under a Consolidated No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39 p.1483-1489, 2015.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; DONATO, G.; SILVA, P.R.F.; KAISER, D.R.; ARAMBURU, B.B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.261-270, 2016.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural**, v.44, p.994-1000, 2014.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ – IRGA. Disponível em: <<https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/24143018-soja-em-rotacao-com-arroz.pdf>>

Acessado em: 12 Mai. 2019.

MARCHESAN, E.; TONETTO, F.; TELÓ, G.M.; COELHO, L.L.; ARAMBURU, B.B.; TRIVISOL, V.S. Soil management and application of agricultural gypsum in a Planosol for soybean cultivation. **Ciência Rural**. v.47, 2017.

- MOREIRA, F.R.; DECHEN, S.C.F.; SILVA, A.P.; FIGUEIREDO, G.C.; DE MARIA I.C.; PESSONI, P.T. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.118-127, 2014.
- NETO, P.H.W.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v.30, p.257-261, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S., TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v.313, p.07-16, 2018.
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. Semina: **Ciências Agrárias**, v.26, p.321-344, 2005.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A. DOS; LUMBRERAS, J.F. DE; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; ARAUJO FILHO, J.C. DE; OLIVEIRA, J.B. DE; CUNHA, T.J. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, Brasília. 5ª ed. 2018.
- SARTORI, G.M.S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; DONATO, G.; COELHO, L.L.; AIRES, N.P.A.; ARAMBURU, B.B. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. **Ciência Rural**, v.46, p.53-60, 2015.
- SARTORI, G.M.S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; NICOLOSO, F.T.; SCHORRM R.W.; FILHO, A.C.; DONATO, G. Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas. **Ciência Rural**, v.46, p.1572-1578, 2016.

SOUZA, M.A.S.; FAQUIN, V.; GUELFY, D.R.; DE OLIVEIRA, G.C.; BASTOS, C.E.A. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.611-622, 2012.

STAMMER, A.J. and MALLARINO, A.P. Plant tissue analysis to assess phosphorus and potassium nutritional status of corn and soybean. **Soil Science Society of America Journal**, v.82, p.260-270, 2018.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHMEN, H. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VALADÃO, F.C.A.; WEBER, O.L.S.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F.R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.243-255, 2015.

VALADÃO, F.C.A.; WEBER, O.L.S.; JÚNIOR, D.D.V.; SANTIN, M.F.M.; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, p.183-195, 2017.

VALICHESKI, R.R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S.L.; TRAMONTIN, A.L.; BAADE, E.S. Growth of cover crops and soybean yield according to physical attributes in compacted soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.969-977, 2012.

VEDELAGO, A. et al. **Soil fertility and usage aptitude for soybean cultivation in rice crop regions of Rio Grande do Sul, Brazil**. Cachoeirinha: IRGA, 2012. p.48. (Research Division).

ZEMOLIN, C. R.; AVILA, L.A DE; AGOSTINETTO, D.; CASSOL, G.V.; BASTIANI, M.; PESTANA, R. Red rice control and soybean tolerance to S-metolachlor in association with glyphosate. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p.2040-2047, 2014.

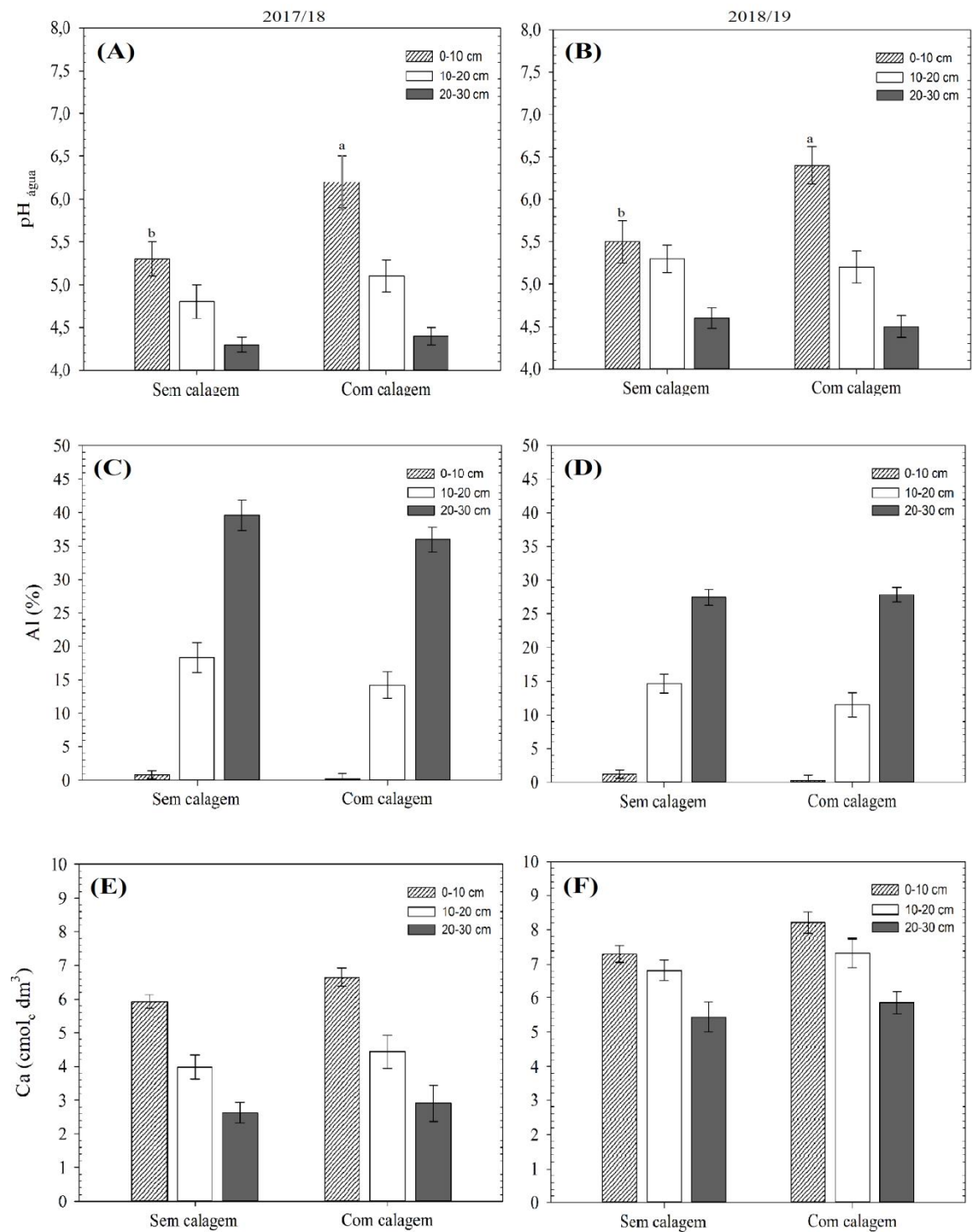


Figura 1 – pH em água, saturação por alumínio (Al) e teor de cálcio (Ca) no solo para os manejos com e sem a aplicação de calcário nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m nas safras de 2017/18 (A, C e E) e 2018/19 (B, D e F) em área de terras baixas. Santa Maria, RS. 2019.

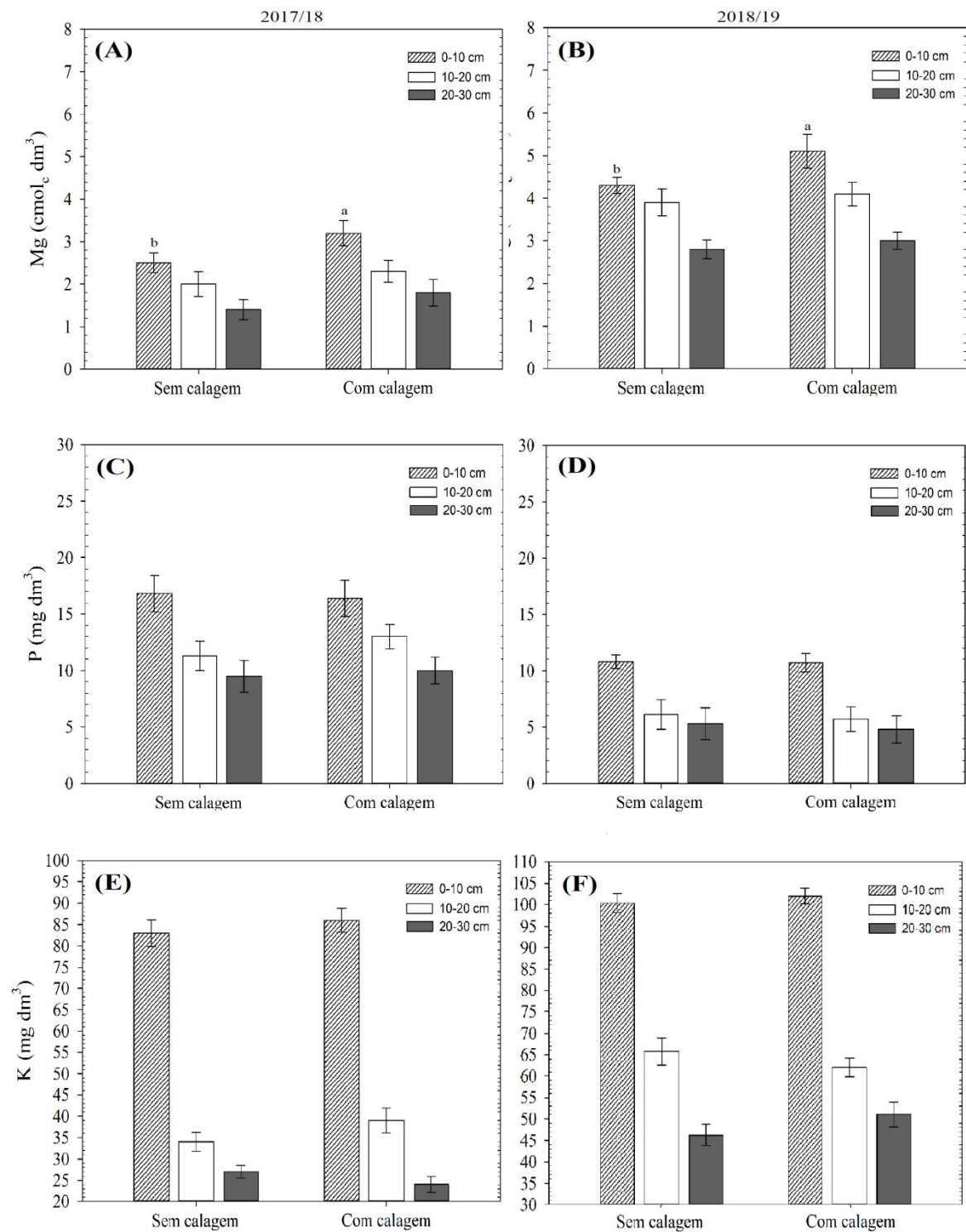


Figura 2 – Teores de magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) no solo para os manejos com e sem a aplicação de calcário nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m nas safras de 2017/18 (A, C e E) e 2018/19 (B, D e F) em área de terras baixas. Santa Maria, RS. 2019.

Tabela 1 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo 10 dias após a semeadura da soja em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de terras baixas com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019.

Safr	Camada	Manejos do solo ¹				Calagem		Média	CV(%)
		SD	G*	ES	EC	SC	CC		
Ds (Mg m ⁻³)									
2017/18	0-10	1,59c	1,49b	1,43a	1,39a	1,46 ^{ns}	1,49	1,48	3,8
	10-20	1,61b	1,55ab	1,53a	1,49a	1,55 ^{ns}	1,53	1,54	4,3
	20-30	1,58b	1,55ab	1,47a	1,49a	1,54 ^{ns}	1,52	1,53	6,1
2018/19	0-10	1,44c	1,35b	1,27a	1,30a	1,32 ^{ns}	1,35	1,34	4,9
	10-20	1,53b	1,48ab	1,38a	1,42a	1,45 ^{ns}	1,46	1,46	4,3
	20-30	1,48b	1,49b	1,34a	1,38a	1,44 ^{ns}	1,40	1,42	5,1
Pt (m ³ m ⁻³)									
2017/18	0-10	0,38c	0,41b	0,44a	0,46a	0,42 ^{ns}	0,42	0,42	6,2
	10-20	0,37b	0,39ab	0,40ab	0,42a	0,38 ^{ns}	0,40	0,39	8,3
	20-30	0,37b	0,39ab	0,42a	0,41ab	0,40 ^{ns}	0,40	0,40	9,1
2018/19	0-10	0,45b	0,48 ^a	0,50a	0,49a	0,46 ^{ns}	0,49	0,47	7,5
	10-20	0,41c	0,42bc	0,46a	0,44ab	0,43 ^{ns}	0,42	0,43	5,8
	20-30	0,43c	0,40bc	0,46a	0,45a	0,42 ^{ns}	0,43	0,43	8,1
Ma (m ³ m ⁻³)									
2017/18	0-10	0,06c	0,09bc	0,11b	0,16a	0,10 ^{ns}	0,11	0,11	24,3
	10-20	0,04b	0,07 ^a	0,08a	0,08a	0,06 ^{ns}	0,07	0,07	34,6
	20-30	0,07b	0,05b	0,10a	0,10a	0,08 ^{ns}	0,08	0,08	33,4
2018/19	0-10	0,08b	0,15 ^a	0,19a	0,16a	0,13 ^{ns}	0,14	0,15	22,9
	10-20	0,05b	0,09 ^a	0,12a	0,10a	0,07 ^{ns}	0,07	0,07	18,7
	20-30	0,07b	0,05b	0,12a	0,11a	0,09 ^{ns}	0,08	0,09	20,2
Mi (m ³ m ⁻³)									
2017/18	0-10	0,31 ^{ns}	0,33	0,33	0,29	0,32 ^{ns}	0,31	0,31	9,3
	10-20	0,33 ^{ns}	0,32	0,32	0,33	0,33 ^{ns}	0,33	0,33	6,8
	20-30	0,29 ^{ns}	0,34	0,34	0,31	0,32 ^{ns}	0,32	0,32	12,1
2018/19	0-10	0,37 ^{ns}	0,33	0,35	0,33	0,33 ^{ns}	0,35	0,34	8,8
	10-20	0,36 ^{ns}	0,33	0,35	0,35	0,36 ^{ns}	0,35	0,35	9,6
	20-30	0,36 ^{ns}	0,35	0,34	0,34	0,33 ^{ns}	0,35	0,35	7,4

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra na linha em cada safra diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Semeadura direta (SD); grade niveladora a 0,08 m de profundidade (safra 2017/18) e grade aradora a 0,15 m de profundidade (safra 2018/19) (G*); escarificação simples a 0,30 m de profundidade (ES); escarificação cruzada a 0,30 m de profundidade (EC); sem calagem (SC); com calagem (CC).

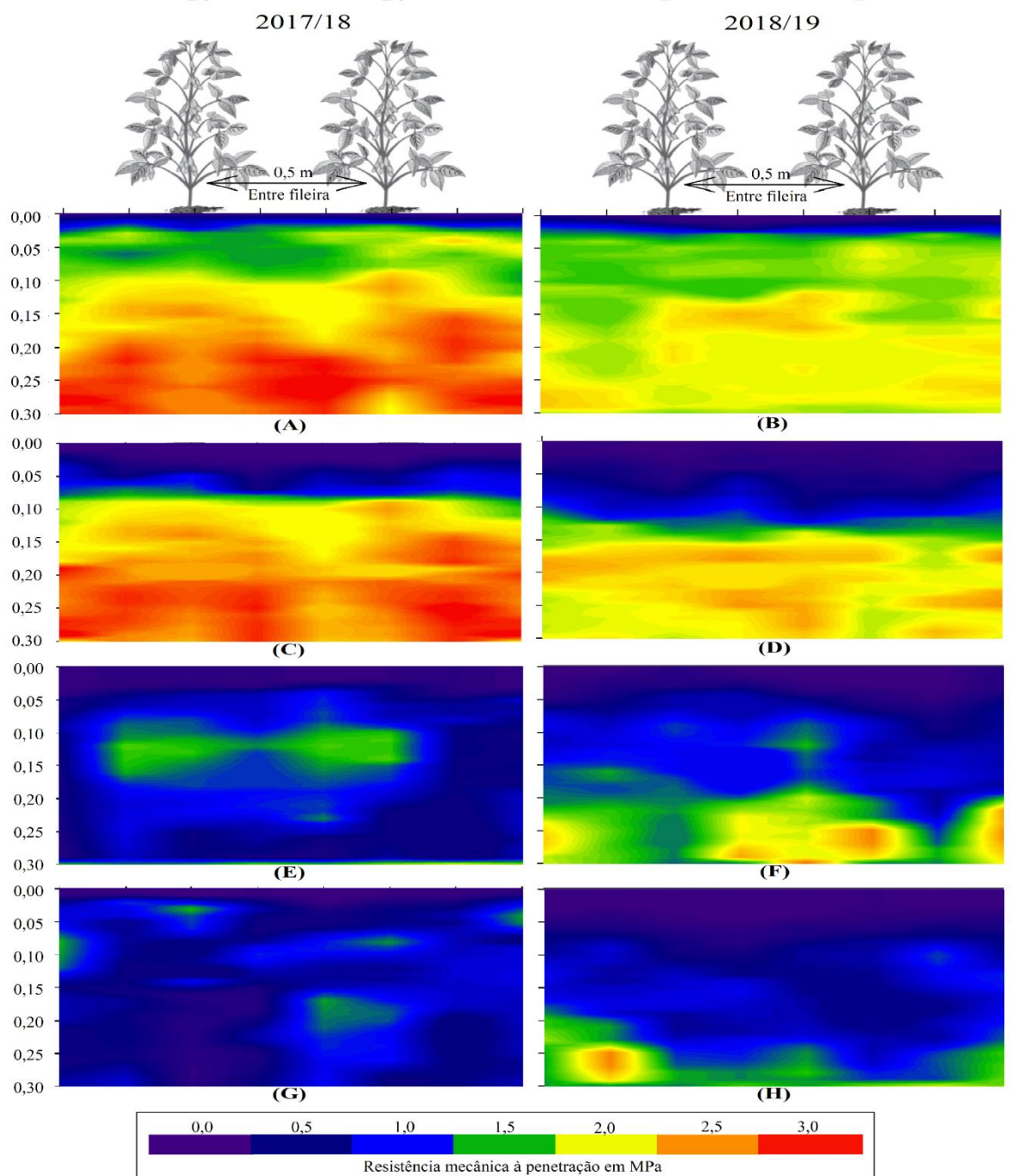


Figura 3 – Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica para os manejos de semeadura direta (A, B), grade niveladora a 0,08 m de profundidade (C), grade aradora a 0,15 m de profundidade (D), escarificação simples a 0,30 m de profundidade (E, F) e escarificação cruzada a 0,30 m de profundidade (G, H) em área de terras baixas. Umidade volumétrica média na camada de 0,3 m de $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as safras 2017/18 (A, C, E e G) e 2018/19 (B, D, F, H) respectivamente. Santa Maria, RS. 2019.

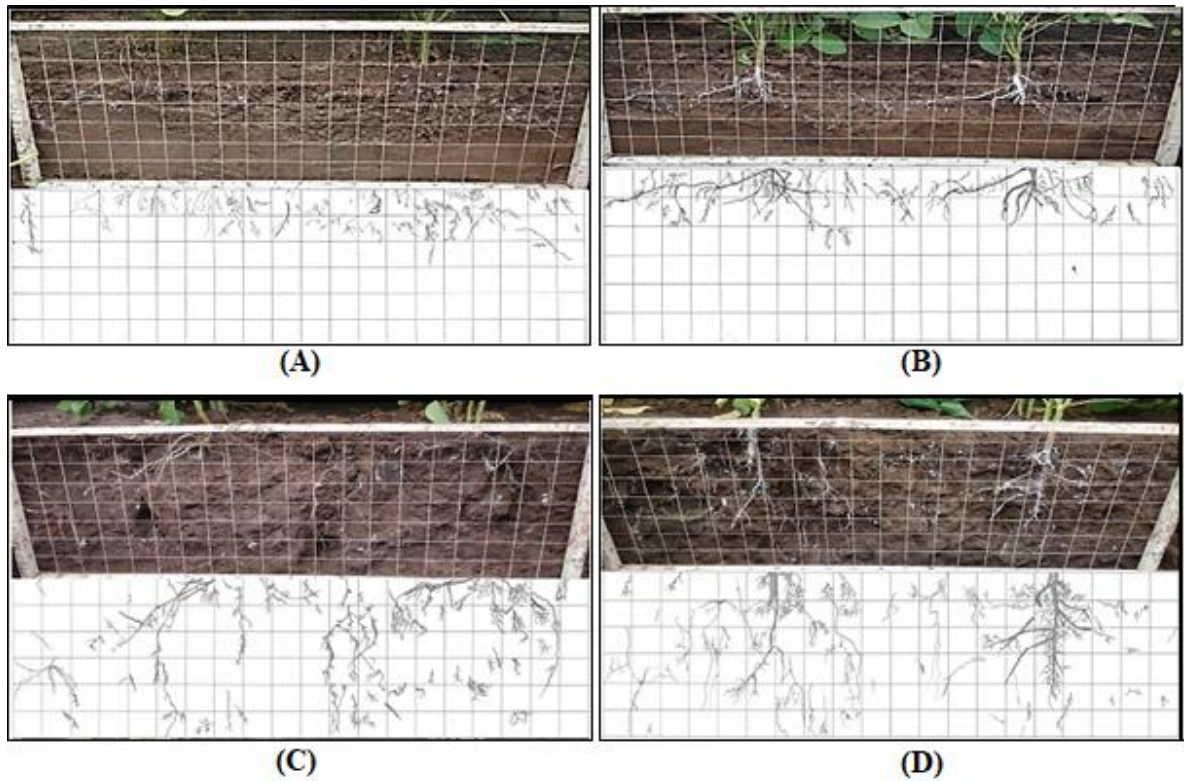


Figura 4 – Distribuição do sistema radicular da soja no estágio R2 em função de manejos do solo: semeadura direta (A) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (B), escarificação simples a 0,30 m de profundidade (C) e escarificação cruzada a 0,30 m de profundidade (D) com aplicação de calcário em área de terras baixas na safra de 2017/18. Santa Maria, RS. 2019.

Tabela 2 - Comprimento (C), área superficial (AS), volume relativo (VR) e diâmetro médio (DM) de raízes de soja nos estádios fenológicos V6 e R2 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de terras baixas com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019.

	C (cm)		AS (cm ²)		VR (cm ³)		DM (mm)	
	V6	R2	V6	R2	V6	R2	V6	R2
----- Safra 2017/18 -----								
Manejos do solo								
SD	805 b	1843b	146,4b	355,0b	2,14b	5,57b	0,258a	0,204a
GN	1122 a	1712b	218,2a	329,1b	3,52a	5,27ab	0,207b	0,210a
ES (0,35m)	1163 a	2683a	224,4a	449,6a	3,53a	6,27a	0,205b	0,179b
EC (0,35m)	1096 a	2755a	213,7a	473,0a	3,34a	6,63a	0,208b	0,183b
Calagem								
SC	1038 ^{ns}	2362 ^{ns}	197,0 ^{ns}	417,2 ^{ns}	3,02 ^{ns}	6,11 ^{ns}	0,192 ^{ns}	0,193 ^{ns}
CC	1056	2135	204,4	486,1	3,25	5,75	0,198	0,195
Média	1047	2248	200,7	401,7	3,13	5,93	0,195	0,194
CV (%)	18,1	20,2	16,7	15,1	17,5	14,9	6,51	8,3
----- Safra 2018/19 -----								
Manejos do solo								
SD	525b	1914b	102,5b	344,2b	2,61b	5,67b	0,345a	0,198 ^{ns}
GA	756ab	2681a	163,7a	445,5a	3,30a	6,31ab	0,266b	0,179
ES (0,35m)	864a	2624a	147,0a	468,9a	3,08ab	7,07a	0,278b	0,193
EC (0,35m)	881a	2650a	175,0a	456,6a	3,18a	6,58ab	0,243b	0,185
Calagem								
SC	750 ^{ns}	2444 ^{ns}	150,6 ^{ns}	431,6 ^{ns}	3,05 ^{ns}	6,75 ^{ns}	0,277 ^{ns}	0,193 ^{ns}
CC	764	2490	142,5	426,0	3,03	6,06	0,288	0,184
Média	757	2467	147,0	428,8	3,04	6,41	0,283	0,189
CV (%)	16,6	21,8	13,1	16,1	13,2	15,0	11,4	9,0

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Semeadura direta (SD); grade niveladora a 0,08 m de profundidade (GN); grade aradora a 0,15 m de profundidade (GA); escarificação simples a 0,30 m de profundidade (ES); escarificação cruzada a 0,30 m de profundidade (EC) ; sem calagem (SC); com calagem (CC).

Tabela 3 – Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no tecido foliar das plantas de soja nos estádios fenológicos V6 e R2, e produção por planta relativa em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019.

	N		P		K		Prod. Relativa (%)
	V6	R2	V6	R2	V6	R2	
----- Safra 2017/18 -----							
Manejos do solo							
SD	35,0 ab	42,7 b	3,4 b	3,4 b	18,9 b	18,1 b	83 b
GN	33,4 b	43,5 ab	3,2 b	3,3 b	19,6 b	17,8 b	92 ab
ES (0,35 m)	37,6 a	48,9 a	4,2 a	3,8 ab	22,7 a	20,1 a	100 a
EC (0,35 m)	38,0 a	47,3 ab	4,4 a	4,3 a	22,9 a	20,7 a	94 a
Calagem							
SC	35,3 ^{ns}	45,3 ^{ns}	3,8 ^{ns}	3,8 ^{ns}	21,2 ^{ns}	19,7 ^{ns}	98 ^{ns}
CC	36,7	45,9	3,8	4,1	20,8	18,6	100
Média	36,0	45,6	3,8	3,0	21,0	19,2	92
CV (%)	8,0	6,9	8,7	16,0	8,9	6,7	7,3
----- Safra 2018/19 -----							
Manejos do solo							
SD	25,6 b	39,1 b	3,3 b	3,4 b	19,2 b	16,2 c	78 b
GA	29,5 ab	45,6 a	3,6 ab	3,8 ab	19,8 b	17,1 bc	99 a
ES (0,35 m)	31,6 a	45,9 a	3,9 a	4,3 a	20,9 ab	18,3 b	100 a
EC (0,35 m)	30,9 a	47,9 a	4,2 a	4,3 a	22,6 a	19,9 a	99 a
Calagem							
SC	30,0 ^{ns}	45,3 ^{ns}	3,7 ^{ns}	4,1 ^{ns}	20,5 ^{ns}	17,6 ^{ns}	97 ^{ns}
CC	29,5	43,8	3,9	4,0	20,7	18,2	100
Média	29,8	44,6	3,8	4,0	20,6	17,9	94
CV (%)	10,1	7,6	16,4	12,1	7,0	6,9	7,8

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Semeadura direta (SD); grade niveladora a 0,08 m de profundidade (GN); grade aradora a 0,15 m de profundidade (GA); (ES) escarificação simples a 0,3 m de profundidade; escarificação cruzada a 0,30 m de profundidade (EC); sem calagem (SC); com calagem (CC).

4 CAPÍTULO II (Artigo Científico)

Desempenho agrônômico da soja sob manejos do solo e uso de calcário em Planossolo

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de manejos do solo e uso de calcário dolomítico no crescimento e no desenvolvimento de plantas de soja cultivadas em área de terras baixas. O experimento foi conduzido nas safras 2017/18 e 2018/19. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em fatorial 4×2 . O Fator A foi composto por sistemas de preparo do solo: (A1) semeadura direta; (A2) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (safra de 2017/18) e grade aradora a 0,15 m de profundidade (safra de 2018/19); (A3) uma passada de escarificador a 0,30 m de profundidade e (A4) duas passadas de escarificador de forma cruzada a 0,30 m de profundidade. O fator D foi constituído pelo uso ou não de calcário dolomítico. Para todas as variáveis analisadas não houve interação de manejos de solo e uso ou não de calcário. Os manejos de escarificação reduziram a resistência à penetração, propiciando maiores crescimento radicular, massa seca de nódulos, índice de área foliar e amenizaram as restrições fisiológicas das plantas por déficit hídrico. Os manejos com escarificação simples, escarificação cruzada e grade aradora aumentam a produtividade de grãos de soja. O uso de calcário não interferiu no desenvolvimento e na produtividade da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*. Camada compactada. Calagem. Escarificação. Déficit hídrico. Produtividade de grãos.

Soybeans agronomic performance under soil management and use of limestone in lowland

Abstract: This study aimed to evaluate the influence of soil management and the use of

dolomitic limestone on the growth and development of soybean plants grown in lowland areas. The experiment was conducted in the 2017/18 and 2018/19 seasons. The experimental design was a randomized block design, in factorial 4×2 . Factor A was composed by soil tillage systems: (A1) no-till; (A2) leveling grid at 0.08 m depth (2017/18 harvest) and harrow at 0.15 m depth (2018/19 harvest); (A3) a scarifier pass at 0.30 m depth and (A4) two cross-scarifier courses at 0.30 m depth. Factor D was constituted by the use or not of dolomitic limestone. For all variables analyzed there was no interaction between soil management and limestone use. Scarification management reduced penetration resistance, leading to increased root growth, nodule dry mass, leaf area index and reduced physiological restrictions of plants due to water deficit. The treatments with simple scarification, cross-scarification and harrowing grid provide an increase in soybean yield. The use of limestone did not interfere in the development and productivity of soybean.

Key words: Compacted layer, liming, scarification, direct seeding, water deficit.

INTRODUÇÃO

A presença de plantas daninhas resistentes a herbicidas é um dos fatores restritivos à elevação da produtividade de grãos da cultura do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. A utilização da soja em rotação à cultura do arroz é uma estratégia para melhorar o controle de plantas daninhas, com destaque para o arroz vermelho resistente. Entretanto, a produtividade média da soja nestas áreas se mantém em torno de $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (IRGA, 2019), aproximadamente 40% menos que a média estadual das áreas de terras altas (CONAB, 2019).

Um dos principais fatores que restringem a produtividade neste ambiente está relacionado à presença de camada compactada em subsuperfície, formada por condições naturais e agravada por práticas de manejo realizadas em momentos de alta umidade no solo (Valicheski et al., 2012). Como consequência, o adensamento das partículas reduz a macroporosidade e aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração, fatores que prejudicam a drenagem e a infiltração de água no perfil do solo (Spera et al., 2012), fazendo com que as plantas permaneçam mais suscetíveis aos frequentes períodos de excesso ou déficit hídricos.

Algumas estratégias de manejo para implantação da cultura, como uso de haste sulcadora

na semeadora, semeadura sobre microcamalhão ou escarificação do solo, têm proporcionado melhorias nas propriedades físicas do solo, reduzindo os períodos de estresses às plantas, e, em consequência, assegurando maior estabilidade produtiva nessas áreas (Sartori, et al 2016, Gubiani, et al., 2018).

Em relação às características químicas, esses solos apresentam alta acidez (pH em água \leq 5,0), reduzidos teores de matéria orgânica e baixos níveis de fósforo e potássio. Além dessas características, aproximadamente 40% das áreas apresentam saturação por alumínio maior que 10% (Vedelago et al., 2012). No Brasil, o material mais utilizado para correção da acidez é o calcário, que efetivamente aumenta o pH do solo, os teores de cálcio e magnésio e a saturação por bases, reduzindo os níveis de alumínio trocável no solo.

Desse modo, com a presença de camada compactada próxima à superfície do solo acrescido de restrições químicas ao longo do perfil, pode prejudicar o adequado desenvolvimento da soja em rotação com a cultura do arroz irrigado. Assim, é importante identificar alternativas para reduzir estresses às plantas, como manejos de solo e uso de corretivos para propiciar maior rendimento de grãos de soja em áreas de terras baixas. Em função disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a influência de manejos do solo e uso de calcário dolomítico no desenvolvimento e no rendimento de grãos de soja cultivada em área de terras baixas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras agrícolas 2017/18 e 2018/19, na área experimental do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPai), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria-RS (latitude 29°43'08"S, longitude 53°43'25"W e altitude de 91 m). O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de KÖPPEN, como subtropical úmido (Cfa), sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e mínima de 14,2°C, tendo precipitação média anual de 1688 mm (Climate-Data, 2019). O solo é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Santos et al., 2018).

Em ambas as safras, os experimentos foram conduzidos em área proveniente do cultivo de arroz, sendo realizadas após a colheita a correção da superfície do solo com auxílio do rolo-faca, com posterior gradagem e aplainamento da área. O solo manteve-se coberto com plantas espontâneas de arroz até aos 45 dias antes da semeadura, quando realizou-se a dessecação da vegetação.

Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso compondo um fatorial 4×2 , com quatro repetições. Fator A, foi composto por sistemas de preparo do solo: (A1) semeadura direta; (A2) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (safra de 2017/18) e grade aradora a 0,15 m de profundidade (safra de 2018/19); (A3) uma passada de escarificador a 0,30 m de profundidade e (A4) duas passadas de escarificador de forma cruzada a 0,30 m de profundidade. As unidades experimentais mediram 10 x 6 m, totalizando uma área útil de 60 m² cada.

Os manejos com escarificação e gradagem e com aplicação de calcário foram realizados 43 e 30 dias antes da semeadura, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente. A escarificação foi realizada com um escarificador de cinco hastes afastadas em 0,35 m. Após, foi utilizada uma grade de dentes com o intuito de minimizar os torrões e uniformizar o solo para a semeadura da soja. Para a gradagem, na safra 2017/18 foi utilizada uma grade niveladora hidráulica com 24 discos de 20 polegadas x 4,0 mm, largura de trabalho de 2,29 m e peso de 687 kg com profundidade de trabalho de 0,08 m. Na safra 2018/19, visando maior revolvimento do solo em profundidade foi utilizada uma grade aradora com 12 discos de 30 polegadas x 7,5 mm, largura de trabalho de 1,8 m e peso de 1877 kg, com profundidade de trabalho de 0,15 m.

A análise química do solo foi realizada pelo laboratório de análises de solo (LAS) da UFSM. Aos 60 dias antes da semeadura o solo apresentava as seguintes características físico-químicas (Tabela 1).

Tabela 1 – Argila, pH_{água}, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) matéria orgânica (MO) e saturação por alumínio (Al) para as camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, e 0,2-0,3 m de profundidades nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019.

Camada	Argila ---%---	pH _{água}	P ---mg dm ⁻³ ---	K ---mg dm ⁻³ ---	Ca ---cmolc dm ⁻³ ---	Mg ---cmolc dm ⁻³ ---	MO ---%---	Al
Safr de 2017/18								
0-0,1	28	5,5	13,2	88	7,1	2,6	2,4	2,1
0,1-0,2	29	5,0	10,5	28	5,0	2,1	1,6	14,1
0,2-0,3	29	4,5	10,5	20	2,6	1,0	1,1	36,6
Safr de 2018/19								
0-0,1	31	5,3	10,9	100,3	9,96	5,12	1,6	1,1
0,1-0,2	32	5,5	6,1	65,7	5,52	4,14	1,4	5,5
0,2-0,3	32	4,8	5,6	46,3	4,86	3,07	1,1	20,2

A correção da acidez do solo foi realizada conforme as recomendações para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016). O objetivo da aplicação de calcário foi elevar o pH do solo a 6,0, na camada de 0-0,2 m de profundidade. Para isso, foi utilizado

calcário filler, com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) acima de 90%. A aplicação foi realizada a lanço, anterior aos manejos de solo.

A semeadura da soja foi realizada nos dias 13 e 02 de novembro de 2017 e 2018, respectivamente, utilizando-se uma semeadora adubadora pantográfica composta por seis linhas espaçadas em 0,5 m, e equipada com disco desencontrado para deposição de sementes e disco duplo para distribuição do adubo. A cultivar utilizada foi a Syngenta 1561 IPRO, grupo de maturação 6.1 e hábito de crescimento indeterminado, na densidade de 34 sementes m^2 .

A adubação de base foi constituída de 22,5 $kg\ ha^{-1}$ de N, 90 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e 90 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O na linha de semeadura. No estágio fenológico V3 (Fehr; Caviness, 1977), aplicou-se em superfície mais 30 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O . As sementes foram tratadas com Fipronil (250 $g\ L^{-1}$) e Carbendazin + Thiram (15 + 35%), na dose de 200 mL $100\ kg^{-1}$. Também foram inoculadas com inoculante turfoso, contendo estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 $g\ 50\ kg^{-1}$ de sementes).

Cinco dias antes da semeadura, com umidade volumétrica do solo de $0,32\ m^3m^{-3}$, realizou-se a avaliação de resistência mecânica à penetração para caracterizar a compactação em cada um dos manejos do solo, utilizando-se penetrômetro digital da marca Falker, modelo PLG 1020. Foram realizadas oito repetições por unidade experimental (UE), até à profundidade de 0,3 m.

A população inicial de plantas foi determinada através da contagem das plântulas emergidas em 6,0 m lineares previamente demarcados na segunda linha de cada unidade experimental. Para as avaliações de comprimento radicular e massa seca de raízes e nódulos, coletou-se um monólito de solo de 0,3 x 0,2 m (largura e profundidade) com três plantas em sequência na linha de cultivo e posterior lavagem. O comprimento radicular (CR) foi determinado com auxílio de uma régua graduada. Para determinação da massa seca de raízes (MSR) e de nódulos (MSN), foram levadas à estufa de ventilação forçada a $65^\circ C$, após atingirem massa constante, foram pesadas em balança de precisão.

As medições das variáveis referentes às trocas gasosas foram realizadas na safra 2017/18, entre as 10 e 12 h da manhã, no terço médio da folha do terceiro trifólio completamente expandido do ápice para a base da planta, com utilização do medidor portátil Infra Red Gas Analyzer (IRGA), marca WALIS, modelo GFS-3000, utilizando uma radiação artificial fotossintética ativa de $1500\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ e concentração de CO_2 de $400\ \mu mol\ mol^{-1}$. Foram avaliadas a taxa líquida de assimilação de carbono (A), a condutância estomática (g_s), a concentração interna de CO_2 (C_i), a taxa de transpiração (E) e a eficiência do uso da água

(EUA), sendo esta última obtida pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada. Tais avaliações foram realizadas entre os estádios fenológicos V6/V7 aos 38, 43 e 48 dias após a emergência (DAE), por decorrência de um período de estiagem.

A estatura de planta foi determinada em laboratório a partir da coleta de três plantas em sequência em cada unidade experimental. O índice de área foliar (IAF) foi determinado segundo metodologia descrita por Richter et al. (2014), onde foi realizada a medição do comprimento e largura de todos os trifólios centrais de três plantas por UE. Após as avaliações citadas, a parte aérea das plantas foi seca em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65°C até obtenção de massa constante. Com exceção da população inicial, as demais avaliações foram realizadas nos estádios fenológicos V6 e R2, para ambas as safras.

O rendimento de grãos foi avaliado com a colheita de área de 10 m², sendo posteriormente realizada a trilha, pesagem e retirada da impureza das amostras. A umidade dos grãos foi corrigida para 13% e expressa em kg ha⁻¹.

Os valores de precipitação pluvial foram obtidos da estação meteorológica automática do 8° DISME/INMET, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do local onde foi instalado o experimento.

Os dados foram submetidos aos testes das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância foi realizada através do teste F, e as médias dos fatores, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis analisadas não houve interação de manejos de solo e uso ou não de calcário. Dessa forma, os resultados são apresentados de maneira separada para cada fator.

Para resistência do solo à penetração mecânica, observou-se que o manejo de SD apresentou valor próximo de 2 MPa a 0,08 e 0,10 m de profundidade para a primeira e a segunda safra, respectivamente (Figura 2), valor esse que, de acordo com (Bortoluzzi et al., 2014), pode ser considerado como nível crítico de resistência à penetração, podendo limitar o desenvolvimento radicular. No entanto, os manejos com ES e EC foram eficientes em reduzir a resistência à penetração em profundidade, visto que, na camada de 0 a 0,2 m, seus valores não ultrapassaram 1,2 MPa em ambas as safras. A utilização de GA na safra 2018/19, reduziu a resistência à penetração do solo até cerca de 0,15 m de profundidade. Já na safra 2017/18, a 0,08 m, a resistência à penetração já superou os 1,5 MPa, provavelmente, essa diferença entre

o trabalho das grades se deva ao maior diâmetro dos discos da GA.

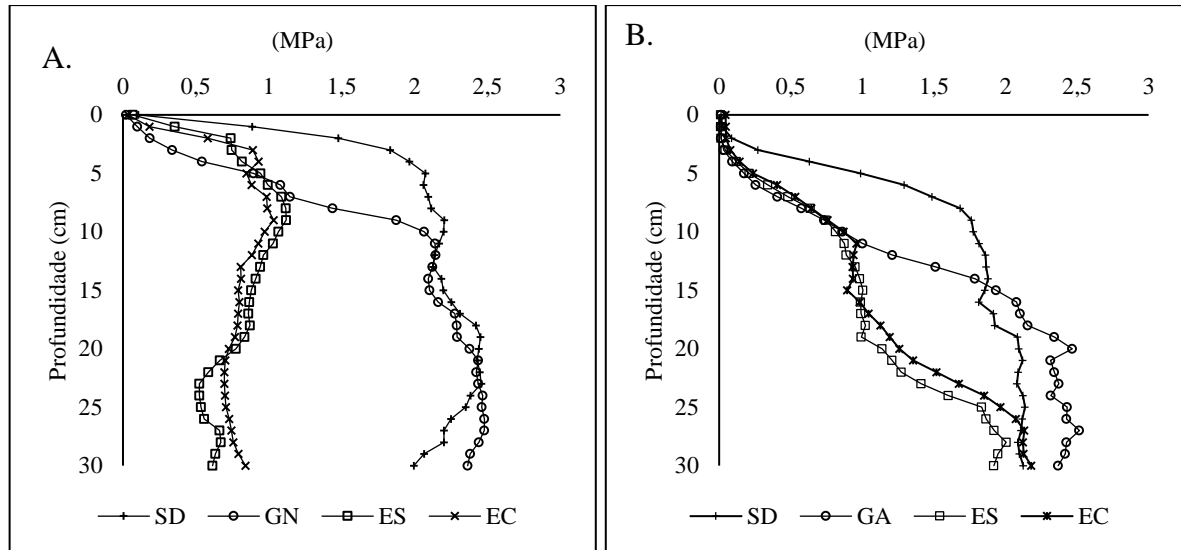


Figura 2 – Resistência mecânica do solo à penetração 10 dias antes da semeadura da soja em função da utilização de manejos de solo em área de terras baixas nas safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Santa Maria, RS. 2019. (SD) semeadura direta, (GN) grade niveladora, (GA) grade aradora, (ES) escarificação simples, (EC) escarificação cruzada. Umidade volumétrica de $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

A população inicial de plantas (PIP) reduziu-se em 16 e 14% com o manejo de SD, respectivamente nas safras 2017/18 e 2018/19, em comparação à média dos demais manejos testados (Tabela 1). Essa redução da emergência das plantas pode estar relacionada às precipitações ocorridas logo após a semeadura, onde o excesso hídrico e a redução de oxigênio, agravados pela compactação do solo, comprometeram o estabelecimento das plantas nesse tratamento. Além disso, constatou-se que, na safra 2018/18, a precipitação pluvial de 15 mm ocorrida um dia após a semeadura, seguida por um período de nove dias sem chuva (Figura 1), reduziu em 50% a emergência de plantas em relação ao número de sementes utilizadas, para os manejos de GA, ES e EC, sendo ainda mais agravante para SD, que apresentou declínio de 61%. Este fenômeno meteorológico favoreceu a formação do selamento superficial do solo na linha de semeadura, promovendo um estabelecimento de plantas 25% inferior à população mínima indicada para a cultivar.

A propensão destas áreas ao selamento superficial está relacionada ao baixo teor de matéria orgânica e às altas proporções de silte, a qual poderá afetar significativamente a emergência das plantas (Henry, et al., 2018). Já a menor emergência na SD pode estar relacionada à deficiência de oxigênio verificada em áreas com presença de camada compactada (Gubiani, et al., 2018), agravada pelo selamento superficial.

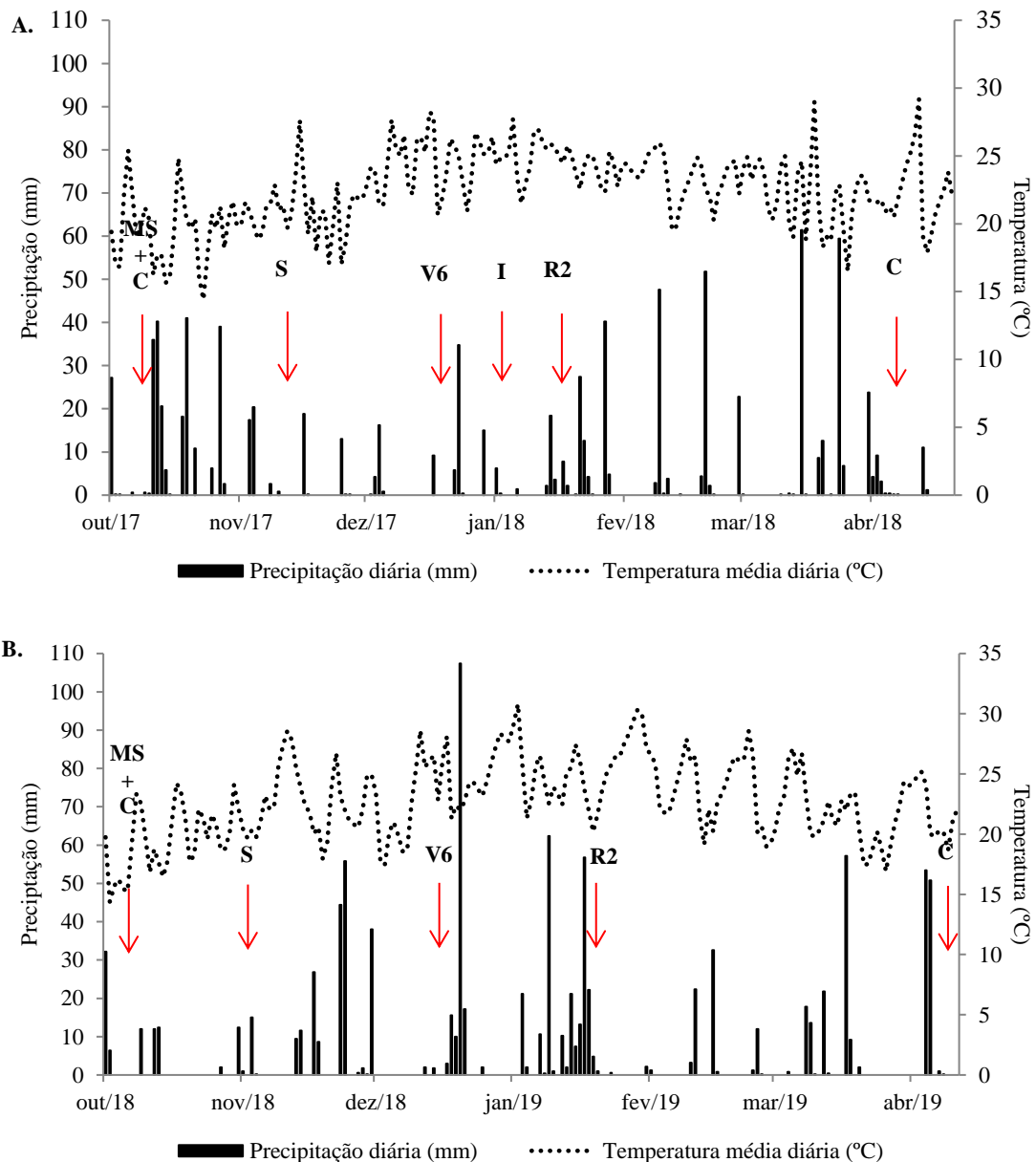


Figura 1 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2017/18 (A) e 2018/19 (B) na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2019. (MS+C) manejos do solo e aplicação de calcário; (S) semeadura; (V6 e R2) estádios de desenvolvimento da cultura, segundo a escala de Fehr e Caviness, (1977) representando as épocas de avaliações; (I) Infra Red Gas Analyzer (IRGA); (C) colheita. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 567 e 888 mm para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente

Para crescimento radicular, observou-se que no manejo de SD o maior desenvolvimento ocorreu na camada mais superficial, próximo ao início da faixa mais adensada. As raízes não ultrapassaram os 0,12 m de profundidade em nenhuma das safras, com redução de 44% do volume de solo explorado pelas raízes em comparação à média dos tratamentos onde foi realizada a escarificação do solo (Tabela 2). A restrição do crescimento radicular é agravada pelo aumento da resistência do solo à penetração que, por consequência, reduz a

acessibilidade de água e nutrientes às plantas (Denardin et al., 2012).

Por outro lado, a redução da resistência à penetração pelos manejos de ES e EC, proporcionaram maior comprimento radicular, observado em ambas as safras e estádios fenológicos avaliados, não diferindo estatisticamente da GA no estádio R2, na safra 2018/19 (Tabela 2). Em nenhuma das safras estudadas, foi verificado crescimento da raiz pivotante em profundidade superior a 0,22 m, mesmo nos manejos com escarificação, onde houve mobilização do solo até 0,3 m de profundidade. De maneira semelhante, Gubiani et al., (2018) observaram que, mesmo com a escarificação do solo, existe escassez de raízes nas camadas abaixo de 0,2 m de profundidade. A dificuldade de desenvolvimento radicular em camadas mais profundas em áreas de terras baixas, em parte pode ser explicado pela deficiência de oxigênio, visto que, em períodos com alta pluviosidade, o nível do lençol freático aumenta, movendo a franja capilar em direção à superfície do solo (Gomes et al., 2012). Dessa forma, o êxito da escarificação como uma alternativa para aprofundar raízes de soja em áreas de terras baixas também é condicionado pelo nível do lençol freático e pela extensão da franja capilar (Gubiani et al., 2018).

A resistência à penetração do solo e a deficiência de oxigênio também podem afetar o processo de nodulação, bem como a viabilidade dos nódulos (Sartori et al., 2015). No presente estudo, ao avaliar-se a MSN (Tabela 2) identificou-se acréscimo no volume para os manejos de ES e EC, comparados à SD em ambas as safras e estádios fenológicos. O manejo com grade não apresentou a mesma tendência de resultados entre as duas safras, possivelmente pela diferença na profundidade de trabalho entre elas. Para a safra 2017/18, quando utilizada a GN, os resultados foram semelhantes à SD. Na safra 2018/19, o uso da GA em maior profundidade de trabalho aumentou a MSN, assemelhando-se aos resultados encontrados nos tratamentos com ES e EC. Para esta mesma safra, na média dos manejos com ES, EC, e GA, quando comparado ao SD, foi encontrado acréscimos na MSN de 35 e 43% nos estádios V6 e R2, respectivamente.

Tabela 2 – População inicial de plantas (PIP), massa seca de nódulos (MSN), massa seca de raízes (MSR) e comprimento radicular (CR) das plantas de soja nos estádios fenológicos V6 e R2 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz irrigado com camada compactada nas safras de 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019

	PIP (plantas m ⁻²)	CR (m)		MSN (g planta ⁻¹)	
		V6	R2	V6	R2
----- Safra 2017/18 -----					
Manejos do solo					
SD	21,3 b	0,8 b	0,11 b	0,051 c	0,298 b

GN	26,1 a	0,9 b	0,11 b	0,069 b	0,341 b
ES (0,35m)	23,5 a	0,15 a	0,23 a	0,086 a	0,515 a
EC (0,35m)	26,5 a	0,15 a	0,22 a	0,090 a	0,521 a
<hr/>					
Calagem					
SC	25,0 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,421 ^{ns}
CC	25,2	0,12	0,17	0,075	0,417
<hr/>					
Média	25,1	0,12	0,17	0,074	0,419
CV (%)	5,3	12,1	11,3	7,0	8,4
<hr/>					
----- Safra 2018/19 -----					
<hr/>					
Manejos do solo					
SD	12,3 c	0,11b	0,12 b	0,108 b	0,262 b
GA	15,5 ab	0,12 b	0,16 ab	0,158 a	0,455 a
ES (0,35m)	16,5 a	0,15 a	0,19 a	0,174 a	0,473 a
EC (0,35m)	16,5 a	0,15 a	0,20 a	0,166 a	0,470 a
<hr/>					
Calagem					
SC	15,5 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,152 ^{ns}	0,420 ^{ns}
CC	15,0	0,14	0,17	0,151	0,410
<hr/>					
Média	15,2	0,13	0,17	0,152	0,415
CV (%)	17,1	10,2	16,2	12,8	11,7
<hr/>					

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (SD) sementeira direta; (GN) grade niveladora a 0,1 m de profundidade; (GA) grade aradora a 0,15 m de profundidade; (ES) escarificação simples a 0,35 m de profundidade; (EC) escarificação cruzada a 0,35 m de profundidade; (SC) sem calagem; (CC) com calagem.

Segundo Gubiani et al. (2018), a escarificação reduz a deficiência de oxigênio em toda a camada de solo revolvida porém, de forma mais intensa, até os 0,10 m de profundidade. Sendo assim, a redução da resistência à penetração e a menor ocorrência de deficiência de oxigênio nos manejos com escarificação, favoreceram o aumento MSN em relação à SD.

De forma geral, a baixa disponibilidade de oxigênio, sob condições de estresse por excesso hídrico, restringe a respiração das raízes, podendo causar danos à fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Youn et al., 2008). De acordo com Oliveira et al. (2013), a falta de oxigênio no solo limita a atividade da enzima nitrato redutase, a qual é essencial para a fixação de N₂ atmosférico. Em contrapartida, períodos de estresse por déficit hídrico também causam danos à FBN, sendo esse considerado o processo metabólico mais sensível à deficiência de água em plantas de soja (King, 2014).

A redução na disponibilidade hídrica também afeta os parâmetros fisiológicos das plantas. Aos 38 DAE (estádio V6/V7), dois dias após precipitação de 21 mm, a taxa de fotossíntese, a concentração intracelular de CO₂, a eficiência instantânea do uso da água, a taxa de transpiração e a condutância estomática não apresentaram diferença entre os manejos estudados (Tabela 3). No entanto, aos 43 e 48 DAE, correspondendo a cinco e 10 dias sem precipitação, os manejos do solo proporcionaram alterações fisiológicas nas plantas.

O acréscimo de 42% no aprofundamento radicular nos manejos com ES e EC, em relação à SD, encontrado no estudo, permitiu maior disponibilidade de água às plantas. Como

resultado, verificou-se maiores condutância estomática, taxa de transpiração e taxa de fotossíntese quando comparado aos manejos com GN e SD.

Não houve diferença estatística para concentração intracelular de CO₂, apenas observou-se uma tendência de redução para os manejos de GN e SD quando comparados aos manejos de ES e EC (Tabela 3). Entretanto, passados 10 dias sem precipitação, observou-se redução da condutância estomática, chegando a 44% aos 48 DAE, para os manejos de GN e SD em comparação aos escarificados. O mecanismo de diminuição da condutância estomática é uma resposta das plantas ao déficit hídrico e visa, principalmente, reduzir a perda de vapor de água para a atmosfera por transpiração, mantendo-a no espaço intracelular (Anjum et al. 2011).

O fechamento de estômatos acarretado pelo déficit hídrico leva à redução da concentração intracelular de CO₂ (Afzal et al., 2014). Segundo os mesmos autores, em torno de 14% do carbono assimilado vai ser enviado para as bactérias diazotróficas em troca de compostos nitrogenados. Sendo assim, em períodos de estresse hídrico, ocorre a redução da fixação biológica de nitrogênio, da taxa fotossintética e do crescimento de plantas (Chavarria et al., 2015).

Quando analisada a taxa transpiratória, observa-se que, com o aumento dos dias sem precipitação e conseqüente diminuição da umidade do solo, ocorreu redução da transpiração em 34 e 40% aos 43 e 48 DAE, respectivamente, para a média dos manejos de SD e GN, em relação aos com escarificação (Tabela 3). Sendo assim, o aumento da restrição hídrica reduz a taxa de transpiração, a condutância estomática, a concentração intracelular de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética, responsável pela expansão celular e desenvolvimento das plantas.

No entanto, para eficiência do uso da água (EUA), constatou-se que, em números absolutos, os manejos de SD e GN foram, em média, 31 e 35% mais eficientes aos 43 e 48 DAE, respectivamente, quando comparados aos manejos com ES e EC (Tabela 3). O aumento da EUA é uma forma da planta elevar a tolerância a condições de baixa disponibilidade hídrica (Tardieu, et al., 2013). No entanto, a maior EUA está correlacionada a menores produtividades (Sincik et al., 2008).

Tabela 3 – Taxa líquida de assimilação de carbono (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intracelular de CO₂ (*C_i*), taxa de transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (EUA) em folhas de soja aos 38, 43 e 48 dias após a emergência (DAE) entre os estádios V6/V7 em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de terras baixas com camada compactada na safra 2017/18. Santa Maria, RS. 2019

<i>A</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>g_s</i> ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>C_i</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	<i>E</i> ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUA ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
--	---	---	---	-------------------------------------

² s ⁻¹)					
----- Safra 2017/18 -----					
38 DAE					
Manejos do solo					
SD	18,3 ^{ns}	341,9 ^{ns}	270,4 ^{ns}	4,58 ^{ns}	3,64 ^{ns}
GN	18,7	416,8	258,3	4,73	3,62
ES (0,35m)	19,3	407,6	314,9	4,55	3,88
EC (0,35m)	19,3	400,2	410,9	4,54	3,86
Calagem					
SC	18,8 ^{ns}	401,7 ^{ns}	300,0 ^{ns}	4,57 ^{ns}	3,72 ^{ns}
CC	18,5	371,6	327,2	4,63	3,78
Média	18,6	386,6	313,6	4,60	3,75
CV (%)	5,4	35,7	41,0	10,1	9,4
43 DAE					
Manejos do solo					
SD	15,6 ^b	248,2 ^b	236,3 ^{ns}	1,35 ^b	17,7 ^b
GN	16,8 ^{ab}	345,5 ^a	259,2	1,93 ^a	11,84 ^{ab}
ES (0,35m)	17,5 ^a	348,7 ^a	295,8	2,25 ^a	9,72 ^a
EC (0,35m)	17,5 ^a	343,3 ^a	290,0	1,98 ^a	10,8 ^a
Calagem					
SC	16,9 ^{ns}	345,8 ^{ns}	282,4 ^{ns}	2,00 ^{ns}	13,40 ^{ns}
CC	17,3	347,0	258,2	1,76	11,69
Média	17,1	346,4	270,3	1,88	12,54
CV (%)	6,2	26,1	17,0	19,3	39,0
48 DAE					
Manejos do solo					
SD	13,8 ^b	66,7 ^b	169,7 ^{ns}	0,96 ^c	15,95 ^b
GN	14,3 ^{ab}	75,3 ^b	150,7	1,15 ^{bc}	14,18 ^{ab}
ES (0,35m)	16,1 ^a	118,0 ^{ab}	194,1	1,69 ^a	11,12 ^{ab}
EC (0,35m)	15,7 ^a	134,2 ^a	174,5	1,92 ^a	8,61 ^a
Calagem					
SC	14,9 ^{ns}	96,1 ^{ns}	167,5 ^{ns}	1,46 ^{ns}	11,57 ^{ns}
CC	15,1	101,0	177,0	1,35	13,37
Média	15,0	98,5	172,2	1,40	12,47
CV (%)	9,0	41,2	32,0	32,1	35,2

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (SD) semeadura direta; (GN) grade niveladora a 0,08 m de profundidade (ES) escarificação simples a 0,35 cm de profundidade; (EC) escarificação cruzada a 0,35 cm de profundidade; (SC) sem calagem; (CC) com calagem.

Existem várias respostas para as alterações fisiológicas em plantas de soja quando afetadas pelo déficit hídrico, que variam devido à duração, à intensidade e à frequência da ocorrência dos estresses. No entanto, em menor ou maior intensidade os estudos mostram que plantas submetidas a períodos de escassez de água reduzem o potencial hídrico foliar e a assimilação de carbono, e aumentam a eficiência do uso da água (Ferrari et al., 2015). Sendo assim, ocorre a redução na condutância estomática e na fotossíntese, podendo em situações críticas prolongadas, reduzir estatura de plantas, índice de área foliar (Chavarria et al., 2015) e, conseqüentemente, a produtividade de grãos.

Para a variável MSPA, os resultados seguem a mesma tendência nos dois estádios de avaliação, na safra 2017/18. Os manejos com ES e EC em relação à SD proporcionaram

acrécimo de 48 e 43% nos estádios V6 e R2, respectivamente. Na safra 2018/19, não houve diferença no primeiro estádio de avaliação, somente em R2, mostrando acréscimo para os manejos com ES e EC, seguidos pela GA e SD. Vinculam-se as frequentes precipitações como uma possível causa da semelhança de MSPA, visto que o volume acumulado da sementeira até V6 correspondeu a 61,6 e 213,8 mm para a safra 2017/18 e 2018/19 respectivamente. Períodos mais curtos, como maiores volumes de precipitação, podem amenizar os problemas com compactação do solo, diminuindo o atrito entre as partículas e, conseqüentemente, a resistência do solo à penetração mecânica (Assis et al., 2009).

De forma semelhante, quando analisado o IAF e a estatura de plantas, constatou-se que os manejos com ES e EC do solo, em ambos os estádios, apresentaram valores superiores aos demais tratamentos na safra de 2017/18 (Tabela 4). Na safra de 2018/19, em números absolutos, observou-se acréscimo de IAF para os manejos com ES, EC e GA, quando comparados a SD. A redução do IAF da primeira para a segunda safra, em ambos os manejos, pode estar relacionada à redução média de 66% da população inicial de plantas estabelecidas na segunda safra (Tabela 1). O maior crescimento das plantas nos manejos com GA, ES, e EC pode estar relacionado ao maior volume de solo explorado pelo sistema radicular, o qual permite acesso a maior volume de água e nutrientes e, conseqüentemente, menores estresses hídricos, resultando em maior desenvolvimento da parte aérea.

Na safra 2017/18, os manejos com ES e EC incrementaram o rendimento de grãos, em média, de 779 kg ha⁻¹ quando comparados a SD (Tabela 4). Dados semelhantes também foram observados na safra 2018/19, com acréscimo de 828 kg ha⁻¹ para os manejos com ES, EC e GA. De maneira mais expressiva, Sartori et al. (2015) verificaram que a escarificação incrementou em 26% o rendimento de grãos em comparação à sementeira direta. Nesse sentido, observa-se que o menor rendimento de grãos em ambas as safras foi para o manejo de SD, o qual manteve a maior RP do solo, fator determinante para redução do sistema radicular, da nodulação e da taxa fotossintética e, como consequência direta, a produtividade de grãos.

Tabela 4 – Massa seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e estatura de planta (EP) nos estádios fenológicos V6 e R2 e rendimento de grãos (RG) de soja em função da utilização de manejos de solo e uso de calcário em área de arroz irrigado com camada compactada nas safras 2017/18 e 2018/19. Santa Maria, RS. 2019

	MSPA (g planta ⁻¹)		IAF		EP (m)		RG (kg ha ⁻¹)
	V6	R2	V6	R2	V6	R2	
----- Safra 2017/18 -----							
Manejos do solo							
SD	2,5 c	12,3 c	0,8 c	3,9 c	0,16 c	0,50 c	4539 b

GN	3,1 b	15,4 b	1,4 b	4,7 b	0,17 b	0,56 b	5046 ab
ES (0,35m)	4,5 a	21,2 a	2,2 a	7,6 a	0,24 a	0,72 a	5492 a
EC (0,35m)	5,0 a	21,9 a	2,3 a	7,6 a	0,23 a	0,73 a	5143 a
----- Safra 2018/19 -----							
Calagem							
SC	3,6 ^{ns}	17,7 ^{ns}	1,6 ^{ns}	6,0 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,62 ^{ns}	5016 ^{ns}
CC	3,9	17,7	1,7	5,9	0,20	0,63	5094
Média	3,8	17,4	1,6	5,9	0,20	0,62	5055
CV (%)	10,6	5,1	10,7	9,4	6,53	6,3	7,3
----- Safra 2018/19 -----							
Manejos do solo							
SD	5,5 ^{ns}	21,1 c	0,7 c	3,8 b	0,25 a	0,62 b	3026 b
GA	5,5	25,2 b	0,9 bc	5,0 a	0,26 a	0,67 ab	3849 a
ES (0,35m)	5,5	26,0 a	1,3 a	5,7 a	0,25 a	0,76 a	3879 a
EC (0,35m)	5,5	26,1 a	1,1 ab	4,7 ab	0,26 a	0,75 a	3834 a
Calagem							
SC	5,5 ^{ns}	24,4 ^{ns}	1,0 ^{ns}	5,0 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,70 ^{ns}	3598 ^{ns}
CC	5,5	24,8	1,0	4,6	0,25	0,69	3697
Média	5,5	24,6	1,0	4,8	25	69,5	3647
CV (%)	23,7	11,4	18,5	16,6	8,8	10,8	7,8

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (SD) semeadura direta; (GN) grade niveladora a 0,1 m de profundidade; (GA) grade aradora a 0,15 m de profundidade; (ES) escarificação simples a 0,35 m de profundidade; (EC) escarificação cruzada a 0,35 m de profundidade; (SC) sem calagem; (CC) com calagem.

O uso de calcário não afetou as variáveis analisadas neste estudo. Essa falta de resposta das plantas à aplicação de calcário em alguns solos está relacionada à presença de níveis médios ou elevados de cátions básicos na solução do solo, que são responsáveis pela diminuição da atividade das espécies tóxicas de Al (Rutkowska et al., 2015), o que pode ser observado nas características químicas encontradas para este local (Tabela 1).

O calcário, formado principalmente de carbonatos de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3), é pouco solúvel, e mantém sua dissociação restrita a regiões próximas às suas partículas. Nesse sentido, a curto prazo, quando aplicado em superfície, dependendo das condições físicas do solo (textura, estrutura, bioporos), tende a apresentar os efeitos benéficos próximo aos primeiros centímetros de solo (Caires et al., 2008). Assim sendo, a correção em profundidade pelo deslocamento vertical das partículas de calcário ocorre de forma mais lenta sendo dependente da passagem de água pelo perfil do solo. Desse modo, a baixa movimentação do calcário no perfil do solo, associado às características químicas da área onde foi instalado o estudo, podem ter influenciado os efeitos da calagem no solo, não afetando os parâmetros avaliados nas plantas.

Dessa forma, os resultados mostram que o aumento das restrições físicas do solo prejudicou o desenvolvimento das plantas de soja. Os manejos com escarificação, por

propiciarem maior mobilização do solo, favoreceram o crescimento radicular em maiores profundidades, o qual é responsável por amenizar os períodos de estresses hídricos às plantas. Como consequência, estes mesmos manejos promoveram maior MSN e IAF, e, em períodos de restrições hídricas, apresentaram menor redução na taxa de fotossíntese, refletindo-se no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de soja.

CONCLUSÕES

Os manejos com escarificação simples e escarificação cruzada reduzem a resistência do solo à penetração, aumentam o desenvolvimento do sistema radicular, e da massa seca de nódulos e resultam em menor restrição da taxa fotossintética da soja em Planossolos com presença de camada compactada próxima a superfície do solo.

Os manejos com escarificação simples, escarificação cruzada e grade aradora aumentam o rendimento de grãos de soja em Planossolos.

Os parâmetros de crescimento e a produtividade da soja são semelhantes para os manejos com escarificação, em condições de resistência à penetração do presente estudo.

Nas condições físicas do presente estudo a escarificação cruzada não é viável, visto que os benefícios proporcionado por esta operação são semelhantes aos observado no manejo de escarificação simples.

O desenvolvimento das plantas e a produtividade de soja não são influenciados pela aplicação de calcário em área de terras baixas, em solo com a caracterização química e física deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afzal, A.; Gulzar, I.; Shahbaz, M.; Ashraf, M. Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v.87, n.1, p.147-156, 2014.

<https://pdfs.semanticscholar.org/a102/7eba995b311b3c847137e234f45122cc68fc.pdf>

Anjum, S.A.; Xie, X.Y.; Wang, L.C.; Saleem, M.F.; Man, C.; Lei, W. Morphological, physiological and biochemical responses f plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, v.6, n.9, p.2026-2032, 2011.

http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380900919_Anjum%20et%20al.pdf

- Assis, R.L.D.; Lazarini, G.D.; Lanças, K.P.; Cargnelutti Filho, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Engenharia Agrícola*, v.29, n.4, p.558-568, 2009. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/27815>
- 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, n.1, p. 262-271, 2014. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100026&script=sci_arttext&tlng=es
- Caires, E.F.; Pereira Filho, P.R.S.; Zardo Filho, R.; Feldhaus, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. *Soil Use Manage.* v.24, n.3, p.302-309, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00166.x>
- Chavarria, G.; Durigon, M.R.; Klein, V.A.; Kleber, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. *Ciência Rural*, v.45, n.8, p.1387-1393, 2015. <https://www.redalyc.org/pdf/331/33142184007.pdf>
- Climate-Data; Clima. <https://en.climate-data.org/>. 19 Jun. 2019.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul, 2016. 375p.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Acesso em: <https://www.conab.gov.br/images/arquivos/outros/Perspectivas-para-a-agropecuaria-2018-19.pdf>
- Denardin, J.E.; Kochhann, R.A.; Faganello, A.; Santi, A.; Denardin, N.; Wietholter, S. Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da Agricultura Conservacionista. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. <https://core.ac.uk/download/pdf/18498274.pdf>
- Fehr, W.R., Caviness, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. (Special Report, 80). <https://lib.dr.iastate.edu/specialreports/87/>
- Ferrari, E.; da Paz, A.; Silva, A.C. da. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. *Nativa*. v.3, n.1, p.67-77, 2015. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>
- Gomes M.A.; Lani J.L.; Costa L.M.; Pontes L.M.; Figueredo N.A.; Bardales N.G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa - MG. *Rev Arvore*. v.36, n.1, p.93-102. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000100011>
- Gubiani, P.I.; Müller, E.A.; Somavilla, A.; Zwirtes, A.L.; Mulazzani, R.P.; Marchesan, E. Transpiration reduction factor and soybean yield in low land soil with ridge and chiseling. *Rev. Bras. Cienc. do Solo*. V.42, p.1-14, 2018. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832018000100414&script=sci_arttext

- Henry, C.G.; Sarzi Sartori, G.M.; Gaspar, J.P.; Marchesan, E.; Hirsh, S.M.; Horton, A.P.; Espinoza, L.; James, H. Deep Tillage and Gypsum Amendments on Fully, Deficit Irrigated, and Dryland Soybean. *Agron. J.* v.110 n.2, p.737-748, 2015. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/110/2/737>
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ – IRGA. <https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/24143018-soja-em-rotacao-com-arroz.pdf>. 12 Mai. 2019.
- King, C.A.; Purcell, L.C.; Bolton, A.; Specht, J.E. A possible relationship between shoot N concentration and the sensitivity of N₂ fixation to drought in soybean. *Crop Science*, v.54, n.2, p.746-756, 2014. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/54/2/746>
- Oliveira, H.C.; Freschi, L.; Sodek, L. Nitrogen metabolism and translocation in soybean plants subjected to root oxygen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.66, n.2, p.141-149, 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942813000636>
- Richter, G.L.; Zanon Júnior, A.; Streck, N.A.; Guedes, J.V.C.; Kräulich, B.; Rocha, T.S.M.D.; Winck, J.E.M.; Cera, J.C. Estimating leaf area of modern soybean cultivars by a non destructive method. *Bragantia*, v.73, n.4, p.416-425, 2014. http://www.scielo.br/pdf/brag/v73n4/en_a10v73n4.pdf
- Rutkowska, B.; Szulc, W.; Hoch, M.; Szychaj-Fabisiak, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. *Soil Use Manage.* v.31, n.1, p.114-120, 2015. <https://doi.org/10.1111/sum.12150>
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A. dos; Lumbreras, J.F. de; Coelho, M.R.; Almeida, J.A. de; Araujo Filho, J.C. de; Oliveira, J.B. De; Cunha, T.J. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa, Brasília. 5^a ed. 2018. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>
- Sartori, G.M.S.; Marchesan, E.; David, R.D.; Carlesso, R.; Petry, M.T.; Donato, G.; Cargnelutti Filho, A.; Silva, M.F.D.; Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.12, p.1139-1149, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200003>
- Sincik, M.; Candogan, B.N.; Demirtas, C.; Büyükcangaz, H.; Yazgan, S.; Göksoy, A.T. Deficit Irrigation of Soya Bean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a Sub-humid Climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.194, n.3, p.200-205, 2008. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.2008.00307.x>
- Spera, S.T.; Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Dreon, G. Effect of crop production systems and pastures under no-tillage on some physical attributes of soil. *Revista Brasileira de*

Ciências Agrárias, v.7, n.3, p.388-393, 2012.
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/946188/1/2012revistabrasileiracienciasagrariasv7n3p388.pdf>

Tardieu, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. *Frontiers in physiology*. *Front. Physiol.* v.4, n.17, p.1-11, 2013. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2013.00017/full>

Valicheski, R.R.; Grossklaus, F.; Stürmer, S.L.; Tramontin, A.L.; Baade, E.S. Growth of cover crops and soybean yield according to physical attributes in compacted soil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.9, p.969-977, 2012.

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000900007&script=sci_arttext Vedelago, A. et al. Soil fertility and usage aptitude for soybean cultivation in rice crop regions of Rio Grande do Sul, Brazil. Cachoeirinha: IRGA, p.48, 2012. (Research Division).

Youn, J.T.; Van, K.J.; Lee, J.E.; Kim, W.H.; Yun, H.T.; Kwon, Y.U.; Ryu, Y.H.; Lee, S.H. Waterlogging effects on nitrogen accumulation and N₂ fixation of supernodulating soybean mutants. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, v.11, n.2, p.111-118, 2008. <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200816637994124.page>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação da cultura da soja em rotação com arroz irrigado em áreas de terras baixas é uma oportunidade para reduzir a infestação de plantas daninhas, reintroduzindo renda em áreas que anteriormente estavam sem uso. No entanto, a produção de soja nesse ambiente é confrontada por diversos desafios. Primeiramente, deve ser realizada de forma criteriosa a escolha da área, baseada na menor probabilidade de alagamento por períodos excessivos, visto que não são todas as áreas viáveis ao cultivo de soja. O passo seguinte consiste em identificar se há a presença ou não de camada compactada. Normalmente, em áreas de terras baixas, em função das características naturais dos solos, associadas a práticas de preparo da área em momentos inadequados de umidade, favorecem a formação de camada compactada. Assim, quando presente, deve-se identificar a profundidade em que se encontra, pois essa informação irá fornecer o embasamento necessário para a tomada de decisão em relação ao manejo a ser adotado.

Nesse sentido, para cultivo de espécies ditas de sequeiro em terras baixas é essencial a adoção de manejos que promovam a ruptura da camada compactada e, assim, favoreça o adequado desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Dessa forma, os manejos com escarificação simples e escarificação cruzada reduziram a densidade do solo e a resistência à penetração e aumentaram a macroporosidade. De maneira geral nesses tratamentos, pode-se observar que os valores de macroporosidade estiveram acima dos 10% até à profundidade de 0,30 m, favorecendo o crescimento radicular e, possivelmente, aumentando os fluxos de água e oxigênio ao longo do perfil do solo.

Sendo assim, os manejos com escarificação e grade aradora aumentaram a nodulação, a área foliar e a estatura de planta. O maior crescimento radicular observado nesses manejos permitiu acesso a um maior volume de solo e, conseqüentemente, de água e nutrientes, apresentando restrições fisiológicas menos intensas em períodos de deficiência hídrica. Entretanto, a utilização dessas práticas deve ser limitada a áreas com presença de camada compactada, pois requer elevado consumo energético e investimento em equipamento. Contudo, em função dos resultados obtidos, cabe ressaltar que a escarificação cruzada do solo não se justifica, visto que os benefícios proporcionados por essa operação são semelhantes aos observados no manejo com escarificação simples.

O uso da grade aradora proporcionou rompimento parcial da camada compactada, próxima a 0,15 m de profundidade, entretanto, suficiente para aumentar em 27% a produtividade de grãos, quando comparada à sementeira em área sem nenhum tipo de manejo

de solo. Por outro lado, a grade niveladora apresenta reduzida profundidade de trabalho, não sendo uma alternativa viável quando se tem por objetivo minimizar problemas decorrentes da estrutura física do solo.

Independentemente do manejo adotado, o uso de calcário aumentou o pH e os teores de cálcio e magnésio apenas na camada superficial (0-0,10 m). Dessa forma, tanto os manejos com escarificação como o com gradagem não foram eficientes na incorporação do calcário em profundidade. Entretanto, as melhorias químicas observadas na camada superficial não foram suficientes para promover benefícios no desenvolvimento das plantas. A falta de resposta para o uso do corretivo pode estar relacionada à baixa saturação por alumínio observada na camada de 0,2 m de profundidade, na área de condução do experimento. Entretanto, mais estudos devem ser realizados, principalmente em locais com condições de fertilidade mais restritivas ao desenvolvimento das plantas de soja.

Dessa forma, visando atingir maiores produtividades de soja em áreas de terras baixas, é necessário pelo menos romper, pelo menos parte da camada mais compactada do solo. Essa estratégia reduz os períodos em que as plantas permanecerão com estresse hídrico, tanto pela falta como pelo excesso de água. Os manejos com escarificação e grade aradora são alternativas que contribuem significativamente para esse fim.

CONCLUSÕES

Os benefícios do uso calcário em área de terras baixas, com presença de camada compactada em subsuperfície, permanecem restritos até à profundidade de 0-0,10 m, independentemente do uso de grade niveladora, grade aradora ou escarificação do solo, aos 120 dias após a aplicação do corretivo.

A escarificação do solo nestas áreas é um procedimento eficaz para aumentar a macroporosidade e para reduzir a densidade e a resistência à penetração mecânica, a uma profundidade de 0,30 m.

A utilização de escarificador e grade aradora no preparo do solo resulta em aumento do crescimento radicular, dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar e de rendimento de grãos de soja cultivada em terras baixas, sendo formas de manejo eficientes para seu cultivo nestes ambientes.

Os manejos com escarificação simples e escarificação cruzada reduzem a resistência do solo à penetração e, em consequência, proporcionam maior massa seca de nódulos e menor restrição da taxa fotossintética da soja em áreas de terras baixas com presença de camada compactada próxima à superfície do solo.

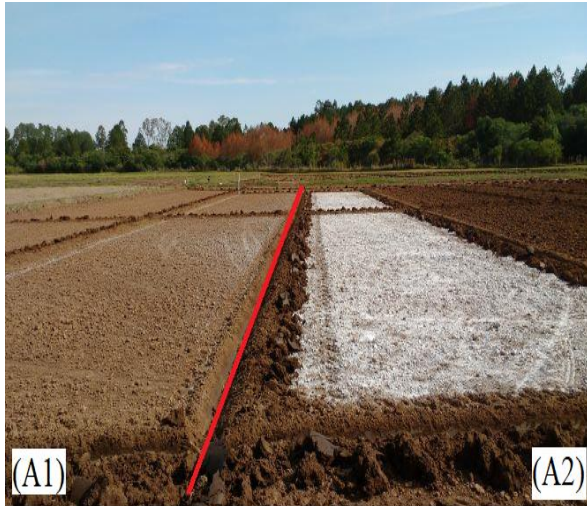
Os manejos com escarificação simples, escarificação cruzada e grade aradora aumentam a produtividade de soja em áreas de terras baixas com presença de camada compactada próxima à superfície.

Os parâmetros de crescimento e a produtividade da soja são semelhantes para os manejos com escarificação, em condições de resistência à penetração do presente estudo.

O desenvolvimento das plantas e a produtividade da soja não são influenciados pela aplicação de calcário realizada aos 40 dias antes da semeadura em área de terras baixas.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Detalhe dos equipamentos e do preparo dos manejos: semeadura direta sem calcário (A1) e com calcário (A2), grade niveladora (B), grade aradora (C) e escarificação (D).



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: DONATO, G. 2019.

Apêndice 2 – Planta de soja aos 60 DAE no manejo de semeadura direta (A1) e escarificação simples (A2), e raízes de soja aos 90 DAE nos manejos de semeadura direta (B1) e escarificado simples (B2).



Fonte: DONATO, G. (2019).

ANEXOS

Anexo A – Normas para a submissão do artigo I na revista Bragantia.

12/07/2019

Bragantia - Instruções aos autores

BRAGANTIA

 ISSN 0006-8705 versão impressa
 ISSN 1678-4499 versão online

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- [Objetivos e política editorial](#)
- [Preparação de originais](#)
- [Encaminhamento de trabalhos](#)
- [Custo para publicação](#)

Objetivos e política editorial

BRAGANTIA - revista de ciências agrônômicas - é um periódico trimestral, editado pelo Instituto Agrônomo, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

BRAGANTIA tem por objetivo publicar trabalhos científicos originais em português, inglês e espanhol, que contribuam para o desenvolvimento das Ciências Agrônômicas, nas áreas de Ciências Básicas (Botânica, Citogenética, Fisiologia Vegetal, Biotecnologia, Biologia Molecular e Fitoquímica), Melhoramento Genético Vegetal, Fitotecnia, Fitossanidade, Solos e Nutrição de Plantas, Tecnologia de Sementes e Fibras, Tecnologia de Pós-colheita, Irrigação, Engenharia Agrícola, Agrometeorologia e Metodologia e Técnicas Experimentais.

Os trabalhos enviados à **BRAGANTIA** devem ser inéditos e não podem ser publicados ou submetidos à publicação em outra revista simultaneamente. A revista publica artigos, notas científicas e trabalhos de revisão (a convite).

O conteúdo dos manuscritos submetidos à publicação em **BRAGANTIA** é de responsabilidade exclusiva de seu(s) autor(es).

Os trabalhos submetidos à publicação em **BRAGANTIA** são avaliados inicialmente pelo Comitê Editorial, o qual define se os mesmos se enquadram no escopo da **BRAGANTIA** e apresentam mérito para publicação. Trabalhos que não atendam às "Recomendações aos Autores" ou que necessitem de grande revisão serão prontamente recusados, mesmo que possuam mérito científico. Após essa fase, o trabalho é encaminhado para dois revisores especialistas na área de conhecimento, sendo os pareceres emitidos pelos revisores analisados pelo Comitê Editorial (Editor-associado e Editor-chefe). O parecer conclusivo é encaminhado aos autores, com as indicações de correções e a necessidade de submissão da nova forma (versão). Os autores devem apresentar juntamente com a nova forma do trabalho as justificativas caso discordem das correções e as respostas a possíveis indagações dos editores e revisores. A nova forma é em seguida confrontada pelo editor-associado com a versão original do trabalho. Uma vez aceito, o trabalho é encaminhado para revisão de referências, abstract e vernáculo. Após diagramação, o texto é submetido a correções finais pelos autores e pelo comitê editorial. O fluxo editorial poderá ser acompanhado pelo sistema de gerenciamento online Submission, a partir de 3 de agosto de 2009.

Preparação de originais

Os autores devem digitar no espaço "Comentários ao Editor" uma carta de encaminhamento, apresentando o trabalho e explicitando a principal contribuição do mesmo para o avanço do conhecimento na área de Ciências Agrárias. A carta de encaminhamento deve indicar que o trabalho não foi submetido para publicação em outro periódico.

Anexo B – Normas para a submissão do artigo II na Revista Brasileira de Ciências Agrárias.

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
Brazilian Journal of Agricultural Sciences
 ISSN (on line) 1981-0997. Recife, v.10, n.2, abr.-jun., 2015
agraria.pro.br/ojs-2.4.6

Diretrizes para Autores

Objetivo e Política Editorial

A **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (RBCA)** é editada pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) com o objetivo de divulgar artigos científicos, para o desenvolvimento científico das diferentes áreas das Ciências Agrárias. As áreas contempladas são: Agronomia, Engenharia Agrícola, Engenharia Florestal, Engenharia de Pesca e Aqüicultura, Medicina Veterinária e Zootecnia. Os artigos submetidos à avaliação devem ser originais e inéditos, sendo vetada a submissão simultânea em outros periódicos. A reprodução de artigos é permitida sempre que seja citada explicitamente a fonte.

Forma e preparação de manuscritos

O trabalho submetido à publicação deverá ser cadastrado no portal da revista (<http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6>). O cadastro deverá ser preenchido apenas pelo autor correspondente que se responsabilizará pelo artigo em nome dos demais autores.

Só serão aceitos trabalhos depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados ou submetidos em publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo.

Os trabalhos subdivididos em partes 1, 2..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores. Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos.

Pesquisa envolvendo seres humanos e animais obrigatoriamente deve apresentar parecer de aprovação de um comitê de ética institucional já na submissão.

Composição seqüencial do artigo

a. Título: no máximo com 15 palavras, em que apenas a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula.

b. Os artigos deverão ser compostos por, **no máximo, 8 (oito) autores;**

c. Resumo: no máximo com 15 linhas;

d. Palavras-chave: no mínimo três e no máximo cinco, não constantes no Título;

e. Título em inglês no máximo com 15 palavras, ressaltando-se que só a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula;

f. Abstract: no máximo com 15 linhas, devendo ser tradução fiel do Resumo;

g. Key words: no mínimo três e no máximo cinco;

h. Introdução: destacar a relevância do artigo, inclusive através de revisão de literatura;

i. Material e Métodos;