

**INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS IBIRUBÁ
CURSO DE AGRONOMIA**

LAURA CAROLINE SCHEFFEL SCHROEDER

**EFEITO DO DESCOMPACTADOR ROTATIVO ASSOCIADO À CALAGEM E
GESSAGEM SOBRE A ACIDEZ ATIVA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Ibirubá, RS, Brasil

2025

LAURA CAROLINE SCHEFFEL SCHROEDER

**EFEITO DO DESCOMPACTADOR ROTATIVO ASSOCIADO À CALAGEM E
MESSAGEM SOBRE A ACIDEZ ATIVA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª. Dra Daniela Batista dos Santos.

Ibirubá, RS, Brasil

2025

LAURA CAROLINE SCHEFFEL SCHROEDER

**EFEITO DO DESCOMPACTADOR ROTATIVO ASSOCIADO À CALAGEM E
MESSAGEM SOBRE A ACIDEZ ATIVA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª. Dra Daniela Batista dos Santos.

Aprovado em 09 de julho, 2025.

Prof. Dra. Daniela Batista dos Santos – Orientadora

Prof. Dra. Anna Carolina Cerato Confortin

Prof. Dr. Tiago Vega Custódio

Prof. Dr. Ben-Hur Costa de Campos – Coordenador do
Curso de Agronomia do IFRS – Campus Ibirubá

DEDICATÓRIA

Chegou ao fim um ciclo de muitas risadas, choro, felicidade e frustrações. Sendo assim, dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida. Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais, Soneide Maria Scheffel Schroeder e André Luis Schroeder, por terem propiciado a realização deste sonho. Não poderia deixar de mencionar a minha orientadora que me ajudou muito e não permitiu que eu desistisse: a professora Daniela Batista dos Santos, por todos os ensinamentos. Aos meus amigos, que me apoiaram nos momentos mais difíceis, meu sincero agradecimento.

E, com o coração apertado de saudade, dedico este trabalho também ao meu querido avô Levino Scheffel, que partiu antes de ver esta conquista, mas que sempre acreditou em mim e me incentivou. Sua memória, seus conselhos e o amor que me deu seguirão comigo em cada vitória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar nos momentos de incerteza e iluminar meu caminho com esperança e força.

A minha família, que me proporcionou a oportunidade de estar estudando e sempre me dando o apoio necessário no decorrer do curso até chegar aqui.

Ao IFRS- Campus Ibirubá pela área cedida para a realização do experimento, bem como o acesso ao laboratório de solo para a realização das análises de solo.

Aos meus amigos, por cada palavra de incentivo, por estarem por perto nos dias difíceis.

As minhas amigas Bruna, Karen e Gabriela pela ajuda de sempre em todos os momentos, meu sincero agradecimento, sem vocês não seria possível.

À minha orientadora, Daniela Batista dos Santos, pela orientação, dedicação e confiança no meu potencial.

Aos professores, por compartilharem diversos conhecimentos.

Aos colegas de curso, pelas trocas, risadas, desafios e aprendizados compartilhados.

A todos que torceram por mim, mesmo de longe, meu sincero agradecimento.

E por fim, agradeço a todos os colegas que me ajudaram na condução das coletas de solo, avaliações e colheita do experimento.

EPÍGRAFE

"Somos o que pensamos. Tudo o que somos surge com nossos pensamentos. Com nossos pensamentos fazemos o nosso mundo."

Buda

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Agronomia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

EFEITO DO DESCOMPACTADOR ROTATIVO ASSOCIADO À CALAGEM E GESSAGEM SOBRE A ACIDEZ ATIVA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA

AUTOR: Laura Caroline Scheffel Schroeder
ORIENTADORA: PROF^a. Dra. Daniela Batista dos Santos
Ibirubá/RS, 09 de julho de 2025.

A adoção do sistema plantio direto contribuiu para a melhoria da conservação dos solos. No entanto, ao longo dos anos de implantação, o descumprimento das premissas básicas do sistema tem, novamente, ocasionado uma degradação física e química do recurso solo. Essa realidade demanda de soluções tecnológicas que possam melhorar as condições físico-químicas do solo em subsuperfície, mantendo os ganhos já obtidos pelo sistema plantio direto em superfície, ou seja, sem que o solo precise ser revolvido. Logo, a presente pesquisa visou avaliar o efeito de manejos mecânicos no solo, em sistema plantio direto, combinado à prática de calagem e gessagem sobre as propriedades químicas do solo e o rendimento da cultura de soja. O experimento, em parcela sub-subdividida foi composto por quatro combinações de aplicação de calcário combinada ou não à intervenção mecânica de solo (i) sem manejo mecânico do solo e sem calcário (plantio direto sem calagem); ii) sem manejo mecânico do solo e com calcário (plantio direto com calagem); iii) manejo mecânico do solo sem calcário; iv) manejo mecânico do solo com calcário. Nas subparcelas foram alocadas as doses de gesso de 0; 2 e 4 Mg ha⁻¹. O manejo mecânico do solo foi realizado utilizando o descompactador rotativo Vollverini e a necessidade de calcário, calculada a partir da média da análise de solo de todas as parcelas, foi de 2,5 t.ha⁻¹ para elevar o pH em água a 6,0. Após aplicação dos tratamentos, realizou-se a semeadura de soja. Coletas de amostra deformada de solo, nas camadas representativas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, visando determinar pH em H₂O foram realizadas três meses após a aplicação dos tratamentos e após a colheita da cultura da soja. Também, ao final do ciclo da cultura da soja foram realizadas avaliações referentes aos componentes de rendimento da cultura. Observou-se que o pH em água foi influenciado pela profundidade amostrada e pelo manejo de solo. De forma que a acidez foi maior à medida em que o solo se aprofunda e nos manejos que não receberam calagem. O pH em água mais elevado foi constatado no manejo que inclui a calagem associada à aplicação do Vollverini. Apesar das diferenças quanto ao pH, o rendimento de soja não foi influenciado pelas variáveis analisadas. Apenas o peso de mil grãos foi maior nos manejos que receberam calagem, independente da dose de gesso e do uso de equipamento mecânico.

Palavras-chave: latossolos; fertilidade; erosão hídrica.

ABSTRACT

Completion of course work

Agronomy Course

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

EFFECT OF ROTARY DECOMPACTOR ASSOCIATED WITH LIMING AND GYPSUM ON SOIL ACTIVE ACIDITY AND SOYBEAN PRODUCTIVITY

AUTHOR: Laura Caroline Scheffel Schroeder

ADVISOR: Daniela Batista dos Santos

Ibirubá/RS, July, 9th, 2025.

No-tillage system adoption has contributed to improving soil conservation. However, over the years, failure to comply with the basic premises of the system has once again caused physical and chemical degradation of the soil resource. This reality demands technological solutions that can improve the physical and chemical conditions of the subsurface soil, while maintaining the gains already obtained by the no-tillage system on the surface, that is, without the need for the soil to be turned over. Therefore, this research aimed to evaluate the effect of mechanical soil management, in a no-tillage system, combined with liming and gypsum on the chemical properties of the soil and the yield of the soybean crop. The experiment, under sub-subplots, was composed of 4 combinations of limestone application combined or not with mechanical soil intervention (i) without mechanical soil management and without limestone (direct planting without liming); ii) without mechanical soil management and with limestone (direct planting with liming); iii) mechanical soil management without limestone; iv) mechanical soil management with limestone. In the subplots, doses of gypsum were allocated: 0; 2 and 4 Mg ha⁻¹. Mechanical soil management was carried out using a Vollverini rotary decompactor and the limestone requirement, calculated from the average soil analysis of all plots, was 2.5 t.ha⁻¹ to raise the pH in water to 6.0. After application of the treatments, soybean sowing was carried out. Disturbed soil samples were collected in the representative layers of 0 – 0.05; 0.05 – 0.10; 0.10 – 0.15 and 0.15 – 0.20 m, aiming to determine pH in H₂O, were carried out 3 months after the application of the treatments and after the harvest of the soybean crop. Also, at the end of the soybean crop cycle, evaluations regarding the crop yield components were carried out. It was observed that the pH in water was influenced by the sampling depth and by soil management. Thus, acidity was greater as the soil deepened and in managements that did not receive liming. The highest pH in water was observed in the management that included liming associated with the application of Vollverini. Despite the differences in pH, soybean yield was not influenced by the variables analyzed. Only the weight of a thousand grains was greater in managements that received liming, regardless of the dose of gypsum and the use of mechanical equipment.

Key Words: latosols; fertility; water erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil representativo de um Latossolo Vermelho-Escuro.....	14
Figura 2 - Descompactador Rotativo Vollverini.....	19
Figura 3 – Área experimental. Ibirubá/RS 2024.....	23
Figura 4 – Croqui do experimento.....	23
Figura 5 – Coleta de solo (A); Acondicionamento das amostras em sacos plásticos (B). Ibirubá/RS 2023.....	24
Figura 6 – Moedor de solo (A); Caixinhas com solo (B). Ibirubá/RS 2023.....	24
Figura 7 – Preparo do solo para análise (A); Agitação do solo com um bastão de vidro (B). Ibirubá/RS 2024.....	25
Figura 8 – Medição do pH do solo. Ibirubá/RS 2023.....	25
Figura 9 – Aplicação de gessagem e calagem. Ibirubá/RS 2023.....	26
Figura 10 – Descompactador Rotativo Vollverini. Ibirubá/RS 2023.....	27
Figura 11 – Semeadura do experimento. Ibirubá/RS 2023.....	27
Figura 12 – Manejo realizado com trator e pulverizador do Campus. Ibirubá/ RS 2024.....	28
Figura 13 – Coleta e análise de solo: Abertura da trincheira (A); Corte e coleta da amostra (B); Análise no laboratório (C). Ibirubá/RS 2024.....	30
Figura 14 – Arranquio das plantas de soja (A); Trilha das parcelas (B); Contagem de mil grãos para o PMG (C); Correção de umidade a 13% (D). Ibirubá/RS 2024.....	31
Figura 15 – Medição do diâmetro da haste principal (A); Medição da altura de planta (B): Contagem do número de grãos e vagens por planta (C). Ibirubá/RS 2024.....	32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Relação da aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas aplicados na área experimental. IFRS Ibirubá, 2024.....29
- Tabela 2** – Resumo da análise de variância referente à variável pH em água 3 meses após a aplicação do corretivo de acidez e ao final da cultura da soja. IFRS Ibirubá, 2024..... 33
- Tabela 3** – Valores de pH em água em função dos manejos de solo utilizando descompactador rotativo Vollverini sem calagem (E), plantio direto sem calagem (PD), descompactador rotativo Vollverini com calagem (EC) e calagem superficial (CS). IFRS Ibirubá, 2024.....34
- Tabela 4** – Resumo da análise de variância para as variáveis componentes de rendimento de soja safra 2023/2024: stand de plantas (plantas.m^{-1}), altura de plantas (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, mm), grãos por legume (G/L), grãos por planta (G/P), rendimento de grãos (kg.ha^{-1}) e peso de mil grãos (PMG) em função de manejos de solo. IFRS Ibirubá, 2024.

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** - Valores de pH em água 3 meses após a aplicação dos tratamentos (A) e ao final do ciclo da soja (B) em função dos manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS) nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm. IFRS Ibirubá, 2024..... 37
- Gráfico 2** – Peso de mil grãos com os manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS). IFRS Ibirubá, 2024..... 40
- Gráfico 3** – Rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com os manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS). IFRS Ibirubá, 2024..... 41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.1 Latossolos.....	13
2.1.2 Sistema Plantio Direto.....	14
2.1.3 Restrições quanto aos atributos físicos e químicos do solo.....	15
2.1.4 Descompactador Rotativo Vollverini.....	18
2.1.5 Cultura da soja.....	20
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A ordem dos Latossolos é composta por solos comuns de regiões tropicais e subtropicais, sendo a ordem que predomina na região do Planalto do RS, se caracterizando como os principais solos agrícolas do Estado. Devido ao seu processo de formação, com elevado grau de intemperismo, esses solos são pobres em nutrientes, ácidos, com teores elevados de alumínio trocável (Al^{3+}) e altamente estáveis do ponto de vista físico (Lopes, 1984).

Estes solos, apesar das pobres características químicas, há mais de 50 anos foram incorporados ao sistema produtivo graças à prática de correção de acidez por meio do uso de calcário agrícola e utilização de fertilizantes, ambos incorporados ao solo (a cerca de 20 a 30 cm de profundidade) visto que o sistema convencional era o manejo do solo praticado na época (Streck *et al.*, 2008).

A partir da década de 60, a chamada “Revolução Verde” orientou o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola, incorporando pacotes tecnológicos com o objetivo de maximizar o rendimento dos cultivos (Matos, 2010, p. 3). Entre os pontos desenvolvidos, pode-se citar a adoção de manejos de solos que reduzissem a erosão hídrica, que era um dos grandes problemas para os agricultores do Brasil (Denardin *et al.*, 2012).

Com o advento do sistema plantio direto, na década de 80, os solos não foram mais revolvidos e, assim, os corretivos de acidez passaram a ser depositados em superfície. São indiscutíveis os benefícios que essa transição de manejos trouxe em termos de conservação de solo, sobretudo à diminuição dos processos erosivos. Porém, passadas algumas décadas dessa mudança de manejo, outras problemáticas têm surgido. Isso porque, na prática, houve um distanciamento e/ou distorção das premissas básicas que o sistema plantio direto inicialmente propunha, além do não revolvimento do solo, com rotação de culturas e manutenção de cobertura sobre o solo (Barbieri *et al.*, 2019).

O fato de eliminar o revolvimento do solo incentivou o aprimoramento de equipamentos mecanizados capazes de realizar semeadura direta e, com isso, instalou-se a semeadura direta na palha. Em muitas propriedades, quando a semeadura direta foi iniciada e posteriormente consolidada, a correção da fertilidade do solo na camada 0 a 20 cm não foi considerada. Assim, o perfil do solo (em suas características químicas, físicas e biológicas) não foi formado e ao invés disso, acentuaram-se as situações em que os corretivos e fertilizantes fossem depositados em superfície do solo, já que o revolvimento do solo estava abolido.

Também, a segunda premissa para que o sistema plantio direto ocorresse (manutenção da palhada), incentivou o uso de cereais de inverno, cujos resíduos culturais possuem alta relação

C/N e podem ser utilizados como pastejo aos animais. Somado a isso, a cultura da soja reinou sobre os cultivos de verão, acarretando no não atendimento à terceira premissa do sistema plantio direto: rotação de culturas, o que não tem fornecido ao solo resíduo vegetal suficiente (tanto do ponto de vista de qualidade como de quantidade) para a manutenção do sistema. Em suma, o que se tem atualmente, em muitas propriedades rurais, é uma semeadura direta sob sucessão de culturas soja-cereal de inverno, em monocultivo da primeira, com aplicação de corretivos de acidez e fertilizantes na camada superficial, cujas condições têm resultado em solo com limitações químicas, físicas e biológicas. Tais limitações restringem uma distribuição vertical da massa radicular, pois os nutrientes encontram-se nas camadas superficiais, além de que a permeabilidade do solo ao ar e a água é reduzida ao passo que a resistência do solo à penetração é elevada (Spera *et al.*, 2018).

Nunes (2018) estima que essa situação se estenda a mais de 30 milhões de hectares no Brasil, colocando em risco as projeções de exuberância da agricultura no País, visto que há um ciclo errôneo nas concepções práticas do sistema plantio direto, e que os solos apresentam limitações físicas e pH elevado em superfície ao mesmo tempo em que há presença de acidez e alumínio tóxico em subsuperfície. Esses fatos têm repercussão na i) ausência de incremento no rendimento da cultura de soja (maior cultura de importância econômica em nível mundial); (ii) na degradação do recurso solo e (iii) na contaminação da água, já que a erosão hídrica tem sido recorrente.

Denardin (2018) foi categórico ao expor essas e outras situações nas quais a negligente gestão do uso das tecnologias acarreta em prejuízos econômicos e ambientais. O mesmo autor sugere um diagnóstico das situações limitantes e, se necessário, que hajam ações visando reiniciar a instalação do sistema plantio direto, as quais incluem o uso de corretivos de acidez considerando camadas mais profundas do solo e o uso de descompactadores do solo.

Objetivando vencer as estratificações do ponto de vista químico, as apostas têm se voltado à aplicação de diferentes fontes de calcário combinadas ou não ao gesso agrícola visando a correção de uma maior profundidade no perfil de solo (Caires *et al.*, 2007). Do ponto de vista físico, e até mesmo quando se pensa em reiniciar o sistema, a prática de mobilização mecânica do solo sido apontada como alternativa (Camara, 2005), mesmo que com ressalvas, pois mobilizar o solo também apresenta temores, principalmente quanto ao sequestro de C no solo e desconstrução da camada mais fértil. Os descompactadores de solo mais comuns são os do tipo subsolador e escarificador (Girardello *et al.*, 2017).

Recentemente, um novo modelo de descompactador foi lançado no mercado. Trata-se de um equipamento que possui 24 garras curvadas inseridas no eixo central que rotativamente

penetram no solo. Seu diferencial de trabalho é não revolver continuamente o solo como fazem os escarificadores e subsoladores convencionais, pois seu funcionamento se dá por inserção de hastes de maneira alternada no solo, o que possibilita a manutenção da cobertura vegetal e, por sua vez, pode ser utilizado em situação de semeadura direta.

Diante das estatísticas e situação atual do Sistema Plantio Direto (SPD) aqui apresentadas, é possível perceber, em segundo plano, que os agricultores e, por sua vez, suas propriedades rurais tem absorvido inovações tecnológicas da indústria de máquinas e de insumos, bem como tem visado adotar técnicas de cultivo (manejo de solo, agricultura de precisão, sistemas de irrigação, etc.) que superem às adversidades ambientais (clima e solo) e maximizem a produção agrícola (Feix *et al.*, 2016). Logo, cabe à pesquisa técnico científica avaliar alternativas que possam contribuir com desenvolvimento socioeconômico local, regional e nacional. Em especial, a validação de equipamentos com potencial inovador, que visem melhorar o sistema plantio direto e que possam possibilitar a aplicação de corretivo de acidez e sua consequente atuação em camadas mais profundas do solo concomitante à melhoria das condições físicas e químicas do solo, consequentemente tendo potencial de incrementar o rendimento das culturas.

Assim, o presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo analisar os efeitos de manejos de solo associados à calagem e à gessagem sobre a acidez ativa do solo e o rendimento da cultura da soja. Para isso, busca-se mensurar o pH em água do solo nas camadas de 0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,15 e 0,15–0,20 centímetros em cada tratamento, detectar até qual profundidade houve a reação da correção da acidez do solo, determinar os componentes de rendimento da cultura da soja nos distintos sistemas de manejo do solo e, por fim, comparar o rendimento da soja e as propriedades físico-químicas do solo após os diferentes manejos utilizados.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Latossolos

De acordo com Sérgio (2024), os Latossolos estão presentes em quase todas as regiões agrícolas do Brasil, ocupando aproximadamente 39% da área total do país. Caracterizam-se por ocorrer, predominantemente, em topografia plana ou levemente inclinada, típica de ambientes tropicais e equatoriais.

Segundo Santos *et al.* (2018), os Latossolos encontram-se em avançado grau de intemperização, resultado de intensas transformações do material de origem. Apresentam baixa capacidade de troca de cátions na fração argila, inferior a 17 cmolc kg^{-1} , e são compostos predominantemente por minerais resistentes ao intemperismo, como a caulinita. Quanto à drenagem, variam de bem a fortemente drenados, embora possam ocorrer em ambientes com drenagem moderada ou imperfeita. São solos profundos, porosos, bem drenados, permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo (Figura 1). Além disso, apresentam tendência à formação de crostas superficiais, possivelmente devido à flocculação das argilas, que passam a se comportar funcionalmente como silte e areia fina. A fração silte desempenha papel importante nesse encrostamento, o qual pode ser minimizado com a manutenção de cobertura vegetal ao longo do tempo.

Estima-se que mais de 95% dos Latossolos sejam distróficos e ácidos, com pH variando entre 4,0 e 5,5, além de apresentarem teores extremamente baixos de fósforo disponível, geralmente inferiores a 1 mg/dm^3 . Em função dessas características, os Latossolos são considerados solos com sérias limitações de fertilidade natural (Souza, 2021).

Diante da ampla ocorrência dos Latossolos em diversas regiões do Brasil, torna-se fundamental compreender suas características morfológicas, químicas e físicas, a fim de avaliar seu potencial de uso. Apesar das limitações naturais, como baixa fertilidade e acidez elevada, esses solos apresentam propriedades que, quando devidamente manejadas, permitem elevada produtividade agrícola. Souza (2021) ressalta que os Latossolos são passíveis de utilização para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Ou seja, possuem alto potencial agropecuário.

Figura 1 - Perfil representativo de um Latossolo Vermelho-Escuro



Fonte: Embrapa, 2021.

Um fator limitante importante dos Latossolos é a sua baixa fertilidade natural, o que pode comprometer o desenvolvimento das culturas se não for adequadamente corrigido. Contudo, com a aplicação correta de corretivos de acidez, aliada a escolha de fertilizantes e de cultivares adaptadas, é possível obter boas produções agrícolas, especialmente no cultivo da soja.

2.1.2 Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) é considerado o método mais conservacionista de preparo do solo para fins agropecuários. Caracteriza-se pela busca contínua da rentabilidade do sistema produtivo, por meio da máxima expressão dos potenciais genético, edáfico e ambiental. Sua adoção contribui para a melhoria da qualidade do solo, da água e do ar, promovendo maior estabilidade e incremento na renda da agropecuária (Embrapa, 2022).

Segundo Gassen (2010), o SPD tornou-se necessário no Brasil por reduzir significativamente a erosão do solo, aumentar a eficiência produtiva, diminuir os custos operacionais e recuperar a qualidade da água e de outros recursos naturais. Introduzido no país por volta da década de 1970, o sistema representou um marco para a agricultura nacional. O termo "plantio direto" tem origem no conceito inglês *no till*, que significa sem revolvimento do solo, caracterizando-se pelo cultivo direto sobre a palhada.

A implantação do SPD proporcionou importantes avanços na conservação do solo e na expansão das áreas agrícolas. Contudo, com a ausência do revolvimento mecânico do solo, surgiram alterações nas propriedades físicas do solo, como o desenvolvimento de camadas compactadas, que limitam o crescimento radicular e, conseqüentemente, o potencial produtivo das culturas (Gonçalves, 2019).

Spera *et al.* (2018) explicam que, com a adoção do SPD, os horizontes superficiais do solo deixaram de ser homogeneizados por práticas como aração e gradagem, típicas do sistema convencional. Dessa forma, o condicionamento do solo passou a depender da atividade biológica, da deposição de resíduos culturais e do manejo contínuo ao longo das safras. Como resultado, o horizonte superficial passou a apresentar diferenciações estruturais e químicas, extinguindo a camada arável homogênea antes mantida pelas operações mecânicas.

Assim, essa nova estrutura, tem levado à estratificação de nutrientes. A presença de elementos tóxicos, como o alumínio, associada à compactação, pode causar estresse hídrico e nutricional nas plantas cultivadas (Spera *et al.*, 2018). Os mesmos autores destacam que, diante da utilização de cultivares com ciclos cada vez mais curtos, até mesmo períodos breves de estresse em fases críticas podem afetar significativamente o rendimento das lavouras.

No contexto do Sistema Plantio Direto, a compactação do solo tem se tornado uma limitação frequente, principalmente nas camadas subsuperficiais, afetando o desenvolvimento radicular das culturas. Para mitigar esse problema, o uso de descompactadores surge como uma prática eficaz, capaz de romper camadas adensadas sem promover o revolvimento total do solo, mantendo os princípios conservacionistas do sistema.

De acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016), em sistemas com revolvimento do solo, como o preparo convencional ou a implantação do plantio direto, a amostragem deve ser feita na profundidade de 0 a 20 cm. Já em sistemas consolidados sem revolvimento, como o plantio direto contínuo, recomenda-se a amostragem na camada de 0 a 10 cm, com monitoramento periódico da camada de 10 a 20 cm para avaliar possíveis alterações químicas em subsuperfície. O próprio Manual reconhece que, em determinadas situações onde o SPD apresenta limitações, como acúmulo de acidez ou compactação nas camadas mais profundas, pode ser necessário algum tipo de intervenção mecânica, como o revolvimento ocasional do solo, visando restabelecer condições adequadas para o desenvolvimento das plantas.

2.1.3 Restrições quanto aos atributos físicos e químicos do solo

Ao longo desses 30 anos de implantação do sistema plantio direto, por questões mercadológicas e de custo, o conceito de “sistema” foi sendo deixado de lado. Atualmente, pratica-se somente o plantio (semeadura) direta, caracterizada pelo não revolvimento do solo e monocultivo de espécie de verão (sobretudo, soja).

Conforme Denardin (2012), “o mais comum entre os agricultores é o processo simples de semeadura direta”, em substituição ao verdadeiro Sistema Plantio Direto (SPD), que requer um manejo mais amplo. O autor também destaca que o SPD compreende a mobilização do solo apenas na linha ou cova de semeadura; a manutenção dos restos culturais na superfície; a diversificação de espécies, por meio da sucessão, rotação e consorciação de culturas; e a cobertura permanente do solo. Além disso, inclui o aporte de material orgânico em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo, e o processo “colher-semear”, que visa reduzir ou eliminar o intervalo entre a colheita e a semeadura, prática essencial para aumentar o número de safras por ano agrícola e manter ou melhorar a fertilidade do solo.

Em seu estudo “Desafio do Plantio Direto”, Denardin destaca que, no Rio Grande do Sul, dos 7,14 milhões de hectares cultivados no verão, apenas 1,27 milhões receberam cultivo no inverno. Isso evidencia que a adoção efetiva do Sistema Plantio Direto (SPD), com pelo menos duas safras anuais, não ultrapassou esses 1,27 milhões de hectares. Esse dado reforça que, na prática, o SPD tem sido reduzido à simples semeadura direta, sem a diversificação e cobertura vegetal adequadas. Essa simplificação, muitas vezes motivada por fatores econômicos e mercadológicos, compromete a sustentabilidade do sistema, reduz sua eficiência agrônoma e gera impactos negativos sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Esse não atendimento às premissas do sistema plantio tem levado o solo à exaustão e conseqüentemente degradação de seus atributos. Compactação do solo, adensamento de camadas de solo, estratificação do perfil de solo são os principais apontamentos quando se fala nas restrições do solo ao crescimento vegetal.

Do ponto de vista físico, a compactação do solo reduz sua porosidade total. Também provoca o aumento da densidade do solo, muitas vezes causada pelo tráfego excessivo de máquinas agrícolas, principalmente em condições de umidade elevada. Essa compactação cria barreiras físicas ao desenvolvimento radicular, dificultando a penetração das raízes e limitando o acesso a água e nutrientes em camadas mais profundas. Como consequência, os solos compactados apresentam maior escoamento superficial, o que favorece processos erosivos e a perda de nutrientes essenciais para as plantas.

O tráfego de máquinas é a principal causa da compactação do solo, que foi intensificada pela modernização, com o aumento do peso das máquinas e equipamentos e da intensidade de uso do solo. Esse processo não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e

largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo (Richardt, 2005).

A compactação do solo prejudica significativamente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, pelo fato de não terem força para penetrar camada adensada e não conseguir chegar nas camadas mais profundas do solo. Essa camada compactada reflete na diminuição da produção, pois não permite que as plantas busquem água retida em maiores profundidades, principalmente em épocas de secas e veranicos mais longos, por causa do sistema radicular mal desenvolvido e pela dificuldade imposta pelo solo compactado na infiltração e retenção de água, baixando assim a sua disponibilidade (Gonçalves, 2019).

Segundo Denardin *et al.*, (2012) a camada compactada reduz a taxa de infiltração de água no solo, aumentando a ocorrência de erosão hídrica devido ao aumento do escoamento superficial da água da chuva. A camada superficial compactada também reduz a capacidade de armazenamento de água e a disponibilidade de água, além de reduzir a mobilização de água no perfil do solo, reduzir as trocas gasosas do solo com a atmosfera e limitar o desenvolvimento radicular das plantas.

Sob o aspecto químico, a compactação afeta os nutrientes no solo pois reduz a porosidade, dificultando a infiltração de água, a troca de gases e a atividade microbiana, que são essenciais para a liberação e o transporte dos nutrientes. Um dos principais indicadores do estado químico do solo é o pH, que influencia diretamente a disponibilidade de elementos essenciais e a presença de elementos tóxicos, como o alumínio (Al^{3+}). Em solos compactados e ácidos, o alumínio se torna mais solúvel, podendo afetar o crescimento radicular e causar estresse nas plantas.

A calagem é a prática indicada para corrigir a acidez do solo, neutralizar o alumínio (Al^{3+}) trocável e fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as culturas, promovendo maior crescimento radicular e incrementos de produtividade (Carvalho, 2021).

Como a reação do calcário no solo é lenta e depende da disponibilidade de água, sua aplicação deve ser feita com, no mínimo, dois meses de antecedência do plantio, preferencialmente antes do início do período chuvoso. No sistema convencional e em áreas ainda não consolidadas em plantio direto (SPD), é bem estabelecido que o calcário deve ser incorporado ao solo. Já no SPD consolidado, a reaplicação do corretivo é realizada a lanço, sobre a superfície, sem revolvimento (Carvalho, 2021).

Para a correção da acidez e das limitações químicas em camadas mais profundas, além da calagem superficial, destaca-se o uso do gesso agrícola como condicionante do solo. Embora o gesso não corrija o pH, ele neutraliza o alumínio tóxico em profundidade e fornece cálcio e

enxofre, nutrientes importantes para o crescimento radicular abaixo da camada de 10 cm. Assim, o gesso contribui para melhorar as condições químicas do solo compactado em subsuperfície, favorecendo o desenvolvimento das raízes e a absorção de água e nutrientes (Caires *et al.*, 2004).

A ação conjunta da calagem e da gessagem tem se mostrado uma técnica eficiente e em constante aprimoramento no manejo da fertilidade química do solo. Embora o gesso agrícola proporcione melhorias significativas nas camadas subsuperficiais, sua aplicação isolada pode resultar na lixiviação de cátions importantes, como magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+), conforme relatado por Caires *et al.* (2004) e Rampim *et al.* (2011).

De acordo com o estudo de Zandoná *et al.* (2015), a aplicação de calcário elevou a produtividade da soja em todas as doses de gesso avaliadas. O uso conjunto de gesso e calcário possibilitou incrementos produtivos, possivelmente devido ao aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ao longo do perfil do solo, além da elevação do pH (H_2O) na camada de 0–10 cm para valores superiores a 5,5, considerados ideais para o desenvolvimento da cultura da soja. Além disso, observou-se que a calagem elevou o pH até 5,5 na camada de 10–20 cm e reduziu os teores de Al^{3+} na profundidade de 20–40 cm, promovendo condições químicas mais favoráveis ao crescimento radicular, bem como à absorção de água e nutrientes.

A avaliação dos efeitos da calagem e da gessagem em sistemas de plantio direto deve considerar o intervalo de tempo após a aplicação, visto que o calcário apresenta baixa solubilidade (Caires *et al.*, 2006), o que limita sua ação às camadas superficiais, devido à lenta mobilidade dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo (Rheinheimer *et al.*, 2000). De forma semelhante, a eficácia da gessagem em profundidade e seus impactos na produtividade vegetal também dependem do tempo e de fatores climáticos, especialmente da variabilidade hídrica entre safras e regiões.

2.1.4 Descompactador Rotativo Vollverini

Segundo Denardin *et al.* (2012), a descompactação do solo tem como objetivo principal reduzir a densidade do solo, o que resulta no aumento da porosidade, melhora na estabilidade dos agregados e maior permeabilidade, facilitando a infiltração e o armazenamento de água. Com isso, as plantas conseguem desenvolver melhor seu sistema radicular, reduzindo também os riscos de erosão. O método mais comum para realizar a descompactação é por meio de implementos com hastes que rompem as camadas compactadas, embora essa prática exija alto consumo energético e tempo para execução (Camara, 2005).

Para que a descompactação seja eficiente, fatores como a umidade do solo no momento da operação, a profundidade de trabalho, o espaçamento entre hastes e a adição de matéria orgânica devem ser considerados (Denardin *et al.*, 2012). Os principais implementos utilizados são os escarificadores e subsoladores, que são tracionados e trabalham de arrasto atuando em diferentes profundidades. Os escarificadores operam em camadas mais superficiais (0–15 cm) e em escarificação pesada (15–30 cm), enquanto os subsoladores são indicados para profundidades acima de 30 cm, exigindo maior potência do trator (Silva *et al.*, 2005).

Uma inovação recente no mercado é o descompactador rotativo com rolo faca Vollverini, da marca Agross do Brasil. Este equipamento foi desenvolvido para atuar com o mínimo revolvimento do solo, sendo compatível com o sistema plantio direto. Sua operação difere dos equipamentos tradicionais, oferecendo uma alternativa moderna para o manejo da compactação do solo.

O Vollverini tem como características estruturais, um chassi tubular, rodados laterais para transporte e regulagem de profundidade, dois cilindros hidráulicos de levante do equipamento, dois eixos contendo neles 32 garras curvadas, desencontradas e parafusadas no eixo central, com penetração no solo de até 45 cm (Figura 2), que farão a descompactação, duas caixas de reservatório de água servindo para dar peso extra ao implemento e um rolo faca traseiro oscilante, para a quebra de torrões, derrubada da palhada, bem como nivelamento do terreno (Agross do Brasil, 2025).

Figura 2 - Descompactador Rotativo Vollverini.



Fonte: Schroeder, 2023.

Algumas das características técnicas do implemento são a largura total de 3,9 metros, largura de trabalho de 3 metros, altura de deslocamento de 2,5 metros, comprimento de 5 metros, potência requerida de 15 a 20 cv por linha de haste (dependendo do lastro do trator),

pneus de alta flutuação, profundidade de trabalho de 40 a 45 cm, tendo 8 linhas com 4 hastes por linha, totalizando 32 hastes com espaçamento de 34 cm, trabalhando em uma velocidade de 5 a 7 km/h (Agross do Brasil, 2025).

O descompactador Vollverini foi desenvolvido com o objetivo de melhorar significativamente a infiltração de água no solo, promovendo a abertura de cerca de seis fendas por metro quadrado. Esse processo permite uma absorção quase imediata da água da chuva ou da irrigação, favorecendo a disponibilidade hídrica para as plantas. Sua ação se baseia na movimentação vertical das hastes, que ao penetrarem e saírem do solo provocam o soerguimento da camada intermediária entre as fendas, criando trincas que contribuem para a descompactação profunda e eficaz da área (Agross do Brasil, 2025).

Apesar de atingir profundidades superiores a 40 cm, o equipamento realiza esse processo de maneira equilibrada, sem promover a inversão do solo. Isso permite manter o nivelamento do terreno e preservar a estrutura física do solo, característica essencial em sistemas de plantio direto. Com isso, o Vollverini promove uma descompactação eficiente sem comprometer os benefícios conservacionistas desse sistema (Agross do Brasil, 2025).

O equipamento propõe soluções práticas e eficientes para o preparo do solo, oferecendo características que garantem durabilidade e desempenho em diferentes condições de uso. Entre suas principais vantagens, destaca-se sua longa vida útil, o que o torna uma excelente opção para produtores que buscam um equipamento durável e de alta qualidade. O Vollverini também contribui para a redução do risco de erosão, mesmo em terrenos com declividade, e favorece o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Além disso, apresenta ótimo desempenho em solos compactados pelo pisoteio de animais, especialmente em áreas de integração lavoura-pecuária com cobertura vegetal, tanto verde quanto dessecada, formada por braquiária ou outras gramíneas (Agross do Brasil, 2025).

2.1.5 Cultura da soja

A soja (*Glycine Max* L.) é uma cultura com origem no continente asiático, na região do rio Yangtse, na China. No Brasil, a introdução da soja se deu por volta de 1882 no estado da Bahia, e foi o professor Gustavo Dutra, da escola de Agronomia da Bahia o primeiro a estudar a cultura no país (Sindmilho, 2022). Porém, naquela época, o interesse principal pela cultura não era os grãos, e sim sua utilização como planta forrageira e na rotação de culturas e seus grãos eram fornecidos somente aos animais pelo fato de que ainda não havia o seu emprego na indústria (Nunes, 2020).

A partir da década de 60 foi que a soja se estabeleceu como uma cultura importante economicamente para o Brasil, com a produção se multiplicando em cinco vezes passando de 206 mil toneladas em 1960 para 1,056 milhões em 1969, porém, o grande aumento do cultivo da soja no Brasil se dá a partir dos anos 70, passando de 15 milhões de toneladas. Com a crescente do cultivo da soja no Brasil, as novas tecnologias acompanhavam, possibilitando um aumento significativo na produção de grãos (Nunes, 2020).

A soja (*Glycine max* L.) é uma planta herbácea, pertencente a classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L. e espécie *Glycine max* (Nepomuceno; Farias; Neumaier, 2021).

A soja (*Glycine max*) apresenta um sistema radicular composto por uma raiz principal do tipo axial e diversas raízes secundárias. O comprimento total das raízes pode atingir até 1,80 metros, dependendo das condições do solo e do manejo. No entanto, a maior concentração das raízes encontra-se na camada de até 15 cm de profundidade, o que evidencia a importância de boas condições físicas e químicas nessa faixa do solo (Nunes, 2020).

O caule da soja é, em sua maioria, hispido, com pouca ramificação. A estrutura da planta pode variar conforme as condições ambientais e a cultivar utilizada. A altura ideal para lavouras comerciais situa-se entre 60 e 110 cm, favorecendo a colheita mecanizada e reduzindo o risco de acamamento das plantas (Nepomuceno; Farias; Neumaier, 2021).

As folhas da soja são alternadas, longas e pecioladas, compostas por três folíolos ovalados ou lanceolados, com comprimento variando de 0,5 a 12,5 cm. Na maioria das cultivares, as folhas tornam-se amareladas com o amadurecimento dos frutos e acabam caindo quando as vagens atingem a maturidade (Missão, 2006).

As flores da soja são autóгамas, geralmente brancas ou roxas. O início do florescimento ocorre quando a planta apresenta entre 10 a 12 folhas trifolioladas, sendo essa uma característica importante para o manejo do ciclo da cultura (Nepomuceno; Farias; Neumaier, 2021).

Os frutos da soja são legumes achatados, levemente arqueados, com superfície pilosa. Medem até 7 cm de comprimento e podem conter de 1 a 5 sementes. A coloração das vagens varia entre amarela-palha, cinza e preta, influenciada pelas condições ambientais e pela cultivar (Nunes, 2020). As sementes, por sua vez, podem ser arredondadas, achatadas ou alongadas, variando em tamanho e cor, embora o mercado consumidor tenha preferência pelas sementes de coloração amarela. Em uma única planta, podem ser encontrados agrupamentos com até 400 grãos (Farias; Nepomuceno; Neumaier, 2007).

A soja é sensível a restrições físicas do solo, especialmente em relação à disponibilidade de água e nutrientes. Solos com baixa capacidade de retenção de água ou com alta acidez podem limitar o desenvolvimento da soja e reduzir a produtividade. Além disso, a soja é sensível a solos com compactação excessiva, que dificultam a penetração das raízes e a absorção de nutrientes (Oliveira, 2025).

Estudos demonstram que a soja é altamente responsiva à correção da acidez do solo, principalmente quando se utiliza a combinação de calcário e gesso agrícola. Fageria et al, conduziram um experimento em casa de vegetação utilizando Latossolo Vermelho distrófico, no qual foram aplicadas diferentes doses de calcário e gesso. Os resultados evidenciaram um aumento expressivo na produtividade de grãos, com incremento de até 89% em relação ao tratamento sem correção.

Esse aumento está diretamente relacionado à melhoria nas propriedades químicas do solo, como o aumento do pH, dos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), da saturação por bases (V%) e da capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe), além da redução da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). A aplicação de gesso também promoveu aumentos significativos na produtividade. Esses resultados indicam que a correção da acidez associada à gessagem pode criar condições favoráveis ao desenvolvimento radicular da soja, otimizando a absorção de nutrientes e água, e resultando em maior rendimento (Fageria *et al*, 2012).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano safra de 2023/2024 na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – *Campus Ibirubá*. A área está situada na região fisiográfica do Planalto Médio (com latitude de 28°38'55.12" S e longitude de 53°06'21.57" O), Rio Grande do Sul, com clima Cfa (subtropical úmido) (Moreno, 1961), o Solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (Embrapa, 2006). A área experimental está demarcada em vermelho na Figura 3.

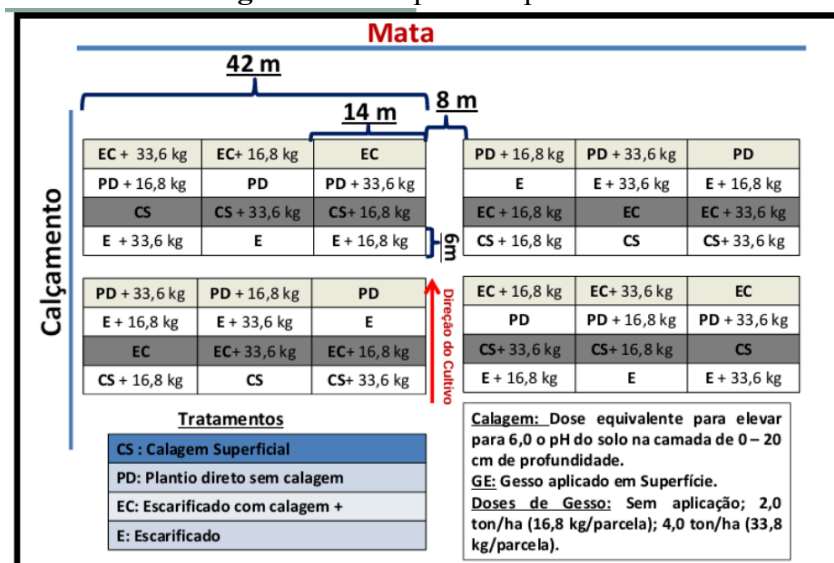
Figura 3 – Área experimental. Ibirubá/RS 2024



Fonte: Google Earth, 2024.

O experimento utilizado neste trabalho foi implantado no ano de 2015, mantido sob rotação de culturas e na safra 2023/2024 os manejos de solo foram reaplicados. O experimento está disposto em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições no esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas principais, medindo 24x42 m, estão alocados os manejos de solo (PD – plantio direto sem calagem; CS – calagem superficial; E – descompactador rotativo Vollverini sem calagem; e EC – descompactador rotativo Vollverini com calagem) e nas subparcelas, que medem 6 x 14 m, as doses de gesso (0, 2 e 4 t.ha⁻¹). Ao total, somam 48 parcelas com área total do experimento de 48 m de largura e 92 m de comprimento, conforme a organização representada no croqui da área experimental (Figura 4).

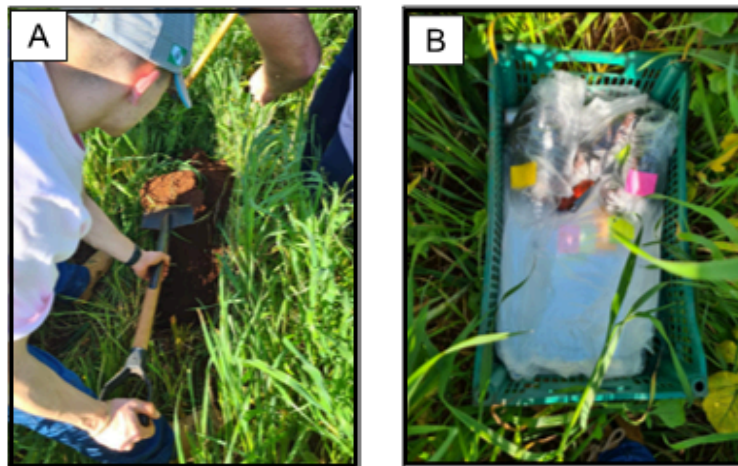
Figura 4 – Croqui do experimento



Fonte: Giroto, 2015.

Visando avaliar a acidez do solo e realizar o cálculo da necessidade de calcário, foi realizada uma coleta de solo na camada de 0–10 cm de profundidade em cada parcela experimental, com o objetivo de analisar o pH em água e o índice SMP (Figura 5). A coleta foi realizada com o auxílio de uma pá de corte, a camada de solo amostrada foi acondicionada em sacos plásticos identificados, sendo secas à sombra por um período de 10 dias.

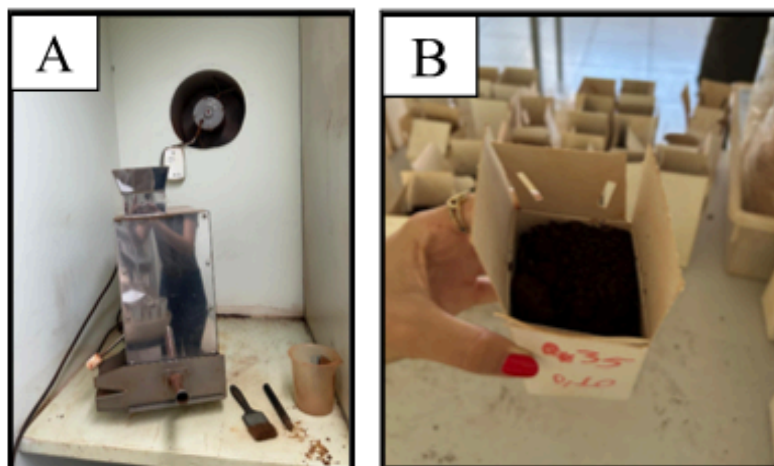
Figura 5 – Coleta de solo (A); Acondicionamento das amostras em sacos plásticos (B). Ibirubá/RS 2023



Fonte: Franz, 2023.

Em seguida, as amostras foram levadas até o Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal do IFRS Campus Ibirubá, onde foi realizada a moagem das amostras de solo para a quebra dos agregados (torrões) do solo (Figura 6A). Posteriormente, o material foi acondicionado em recipientes identificados (Figura 6B), para a determinação do pH em água. A metodologia adotada na análise de acidez do solo é de acordo com a Tedesco (1985).

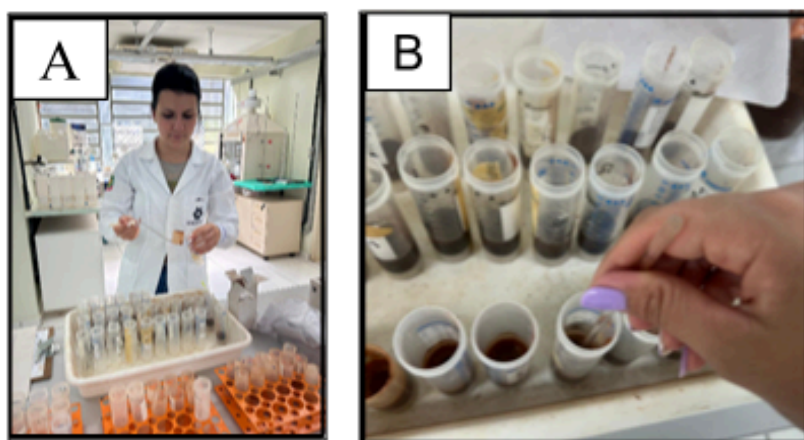
Figura 6 – Moedor de solo (A); Caixinhas com solo (B). Ibirubá/RS 2023



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para a determinação do pH em água, preparou-se uma suspensão na proporção de 10 mL de solo para 10 mL de água destilada (Figura 7A). Cada amostra foi analisada em duplicata, permitindo a comparação dos resultados e maior confiabilidade dos dados. Além disso, utilizou-se um solo padrão, previamente testado e com valor conhecido, para controle de qualidade analítico, conforme prática comum em laboratórios especializados. A mistura solo-água foi homogeneizada com o auxílio de um bastão de vidro, a fim de garantir a completa suspensão do solo (Figura 7B).

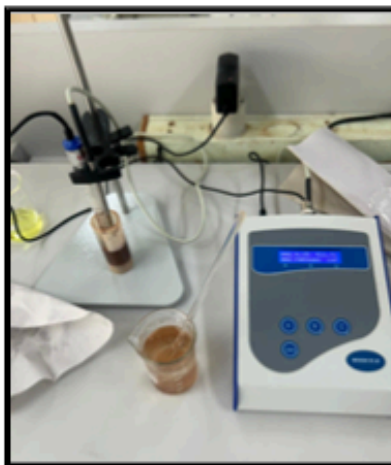
Figura 7 – Preparo do solo para análise (A); Agitação do solo com um bastão de vidro (B).
Ibirubá/RS 2024



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Após a homogeneização da suspensão, esta foi deixada em repouso por 30 minutos. Em seguida, realizou-se nova agitação e procedeu-se à leitura do pH utilizando um medidor de pH previamente calibrado e limpo. O eletrodo do equipamento foi cuidadosamente submerso na solução, aguardando-se a estabilização da leitura para registro dos valores (Figura 8).

Figura 8 – Medição do pH do solo. Ibirubá/RS 2023



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Valores de pH inferiores a 6 indicam acidez no solo, enquanto valores superiores a 6,5 indicam tendência à alcalinidade. Com base nos resultados obtidos, definem-se práticas de manejo adequadas, como a aplicação de calcário para a correção da acidez e o uso de materiais orgânicos com o objetivo de melhorar a estrutura e a fertilidade do solo.

Após a leitura do pH em água, adicionaram-se 5 mL da solução tampão SMP à suspensão, que foi novamente agitada e deixada em repouso por 20 minutos. Em seguida, realizou-se nova agitação e a leitura do índice SMP utilizando o mesmo medidor de pH, devidamente higienizado com água destilada entre as medições. O índice SMP permite estimar a necessidade de calagem, sendo que valores mais elevados indicam uma menor necessidade de correção, devido à maior capacidade tampão do solo.

Como o experimento já havia sido implantado há dez anos, já havia uma diferença de pH entre as parcelas. Assim, visando adicionar a mesma dose de calcário em todas as parcelas, procedeu-se à média dos valores de pH da área, que foi de 5,13. O pH em água de 5,13 é indicativo de correção de acidez. O índice SMP médio foi de 5,0. Assim, utilizando-se dos preceitos dispostos no Manual de Adubação e Calagem para os solos do RS e SC (2016) a dose de calcário recomendada (para toda a área do experimento e para os tratamentos que continham corretivo de acidez) foi de $2,5 \text{ t.ha}^{-1}$, a qual foi ajustada ao PRNT de 75%, totalizando $3,3 \text{ t.ha}^{-1}$. As doses de gesso já eram pré-estabelecidas ($0, 2 \text{ e } 4 \text{ t.ha}^{-1}$), conforme Figura 9.

Figura 9 – Aplicação de gessagem e calagem. Ibirubá/RS 2023



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Posteriormente à aplicação de corretivo e condicionante de solo, procedeu-se às respectivas aplicações dos manejos mecânicos de solo, conforme tratamentos do estudo. Utilizou-se o descompactador rotativo Vollverini (Figura 10) no dia 8 de novembro de 2023.

Figura 10 – Descompactador Rotativo Vollverini. Ibirubá/RS 2023



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A semeadura do experimento (Figura 11) foi realizada no dia 13 de dezembro de 2023. Utilizou-se sementes disponibilizadas pelo Campus, cultivar ND 5909 RR, ciclo 5.9, distribuindo-se 14,6 sementes por metro e 363 kg/ha da formulação 5 – 20 - 20. Utilizou-se semeadora adubadora pneumática à vácuo da marca Vence Tudo, modelo Panther SM 7000, de 7 linhas, espaçadas por 45 cm entre linhas.

Figura 11 – Semeadura do experimento. Ibirubá/RS 2023



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os manejos de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados de forma homogênea e padronizada em toda a área, com auxílio de trator e pulverizador (Figura 12).

Figura 12 – Manejo realizado com trator e pulverizador do Campus. Ibirubá/ RS 2024



Fonte: Franceschi, 2024.

Na Tabela 1 constam todas as datas de aplicações e produtos fitossanitários que foram realizadas durante a condução do experimento. Tais manejos foram realizados pelo setor agropecuário do Campus Ibirubá.

Tabela 1 – Relação da aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas aplicados na área experimental. IFRS Ibirubá, 2024

Data da aplicação	Dose/Produto
27/12/2023	Aplicação de 2,5 L/ha de Glifosato Transorb [®] + 0,5 L/ha de Cletodim + Óleo Mineral
15/01/2024	Aplicação de 2,5 L/ha de Glifosato Transorb [®] + 0,2 L/ha de Engeo Pleno [®] + 150 mL/ha de Rimon [®] + 0,3 L/ha de Priori Xtra [®] + 1,5 L/ha de Absoluto [®] + 0,25 L/ha de Óleo Mineral
31/01/2024	Aplicação de 1,5 kg/ha de Unizeb Gold [®] + 0,5 L/ha de Fox XPro [®] + 0,23 L/ha de Platinum Neo [®] + 0,25 L/ha de Óleo Vegetal
20/02/2024	Aplicação de 1 kg/ha de Approve [®] + 1 L/ha de Ativum [®] + 1 kg/ha de Rapel [®] + 0,25 L/ha de Óleo Vegetal
05/03/2024	Aplicação de 300 g/ha de Elatus [®] + 0,5 L/ha de Versatilis [®] + 0,35 L/ha de Talisman [®] + 0,25 L/ha de Óleo Mineral
25/03/2024	Aplicação de 1 L/ha de Ativum [®] + 0,5 L/ha de Versatilis [®] + 0,2 L/ha de Engeo Pleno S [®] + 0,25 L/ha de Óleo Mineral.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Transcorridos três meses da aplicação dos tratamentos e após a colheita da cultura da soja, foram realizadas novas coleta de amostra indeformada de solo em cada parcela experimental, nas profundidades de 0–5; 5–10; 10–15 e 15–20 cm, com o objetivo de avaliar os possíveis efeitos resultantes dos diferentes manejos adotados (Figura 13). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos e Tecidos Vegetais do IFRS Campus Ibirubá, onde foram submetidas a nova análise de pH em água e índice SMP, seguindo os mesmos procedimentos metodológicos descritos anteriormente (Figura 13C).

Figura 13 – Coleta e análise de solo: Abertura da trincheira (A); Corte e coleta da amostra (B); Análise no laboratório (C). Ibirubá/RS 2024

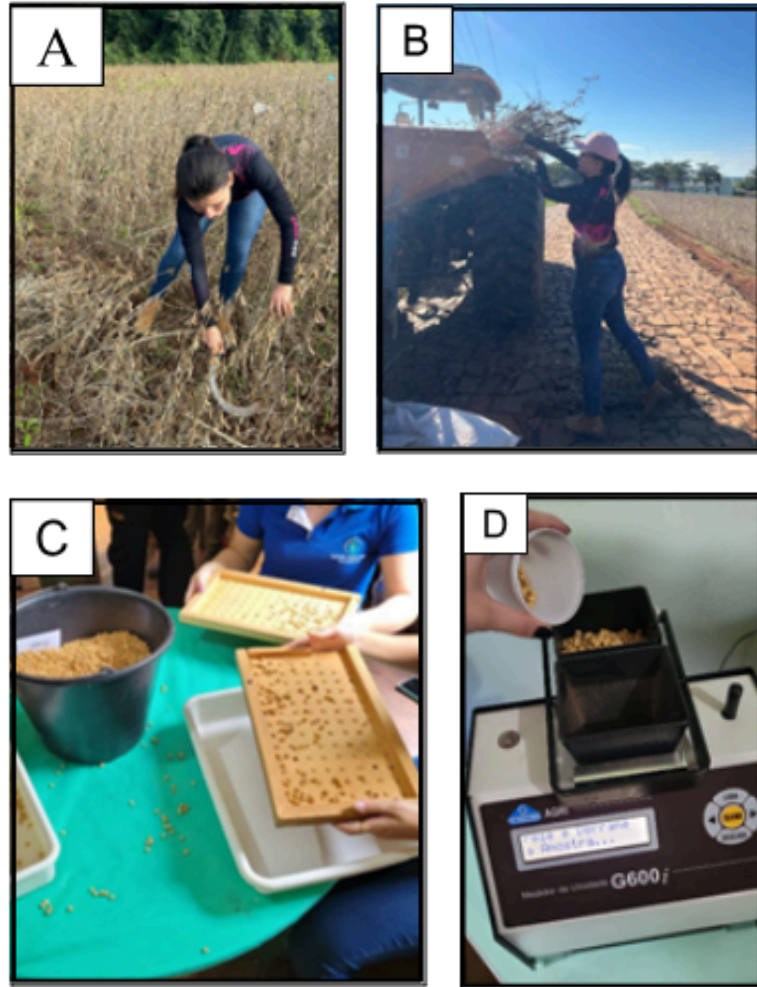


Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Em 25 de abril de 2024, foi realizada a colheita da cultura da soja. Para isso, realizou-se a coleta manual (Figura 14A) de três metros de três linhas centrais de cada parcela experimental (totalizando 4,05 m²). As plantas foram acondicionadas em sacos e identificadas para posterior trilha dos grãos (Figura 14B).

Após a trilha dos grãos, procedeu-se à contagem de mil grãos (Figura 14C), a determinação da umidade dos grãos (Figura 14D) e a correção da umidade da massa de grãos para 13%, estimando-se a produtividade em kg.ha⁻¹.

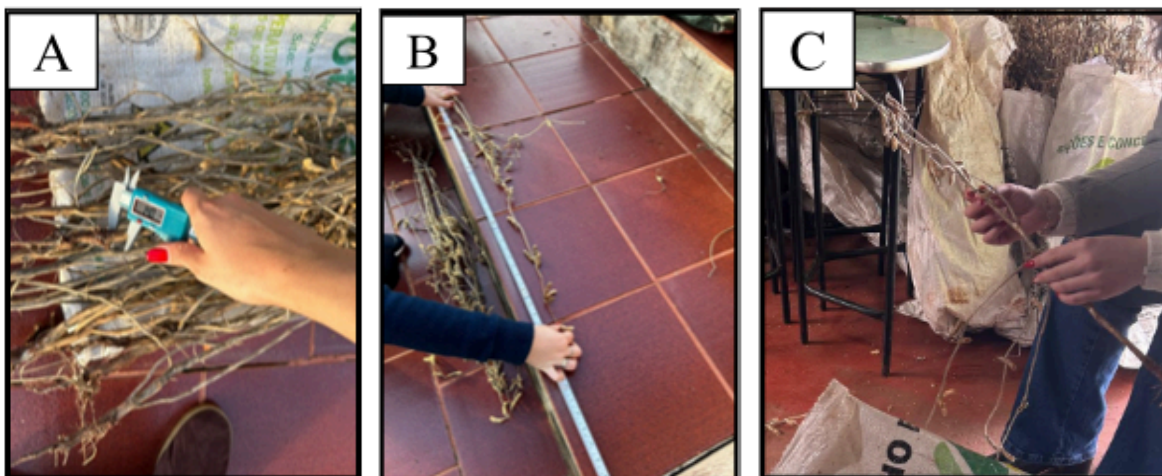
Figura 14– Arranquio das plantas de soja (A); Trilha das parcelas (B); Contagem de mil grãos para o PMG (C); Correção de umidade a 13% (D). Ibirubá/RS 2024



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Do montante das plantas colhidas, foram selecionadas, aleatoriamente, 20 plantas de cada parcela para determinação do diâmetro da haste principal (Figura 15A), altura de plantas (Figura 15B), número de grãos por planta e número de vagens por planta (Figura 15C).

Figura 15 – Medição do diâmetro da haste principal (A); Medição da altura de planta (B); Contagem do número de grãos e vagens por planta (C). Ibirubá/RS 2024



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os dados coletados das avaliações foram inseridos em planilha no Excel para, posteriormente, ser realizada análise estatística no software Sisvar. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$). Para a variável pH em água em função da profundidade do solo, o experimento foi tratado como um trifatorial (manejos de solo x dose de gesso x profundidade de solo amostrada). Para as variáveis referentes aos componentes de rendimento da cultura, o experimento foi tratado como parcela subdividida (manejo de solo na parcela principal e doses de gesso na subparcela). Procedeu-se a análise de variância e quando esta mostrou-se significativa a 5% de probabilidade de erro as médias foram comparadas usando teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebeu-se que os manejos de solo e a profundidade de amostragem de solo influenciaram o pH do solo após três meses de aplicação dos manejos e ao final do ciclo da soja (Tabela 2). Enquanto que as doses de gesso apresentaram influência apenas após 3 meses de aplicação dos manejos. Não ocorreu interação entre os tratamentos estudados no presente estudo ($P > 0,05$).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância referente à variável pH em água três meses após a aplicação do corretivo de acidez e ao final da cultura da soja. IFRS Ibirubá, 2024

Fatores de variação	GL	Quadrado Médio	
		pH em água 3 meses após aplicação do corretivo de acidez	pH em água após colheita da soja safra 2023/2024
Manejo de solo (MS)	3	6,718646*	11,483918*
Doses de gesso (DG)	2	1,455957*	1,108123 ^{ns}
Profundidade (Prof)	3	1,322153*	1,443795*
MS x DG	6	0,915217 ^{ns}	0,592207 ^{ns}
MS x Prof	9	0,069810 ^{ns}	0,353329 ^{ns}
DG x Prof	6	0,030093 ^{ns}	0,095959 ^{ns}
MS x DG x Prof	18	0,035110 ^{ns}	0,032398 ^{ns}
Resíduo	144	0,448353	0,400709
CV (%)		12,86	12,02

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

^{ns}= não significativo.

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Na tabela 3 estão expressas a comparação de médias entre as causas de variação sobre as variáveis pH em água três meses após a aplicação dos tratamentos e ao final do ciclo da cultura da soja.

Tabela 3 – Valores de pH em água em função dos manejos de solo utilizando descompactador rotativo Vollverini sem calagem (E), plantio direto sem calagem (PD), descompactador rotativo Vollverini com calagem (EC) e calagem superficial (CS). IFRS Ibirubá, 2024

Fatores de variação	pH em água		
	pH em água inicial 0 – 10 cm	3 meses após aplicação corretivo de acidez	Após colheita da cultura da soja safra 2023/2024
Manejos de solo			
E	4,75	4,74 c	4,99 c
PD	5,08	5,06 b	4,76 c
EC	4,68	5,49 a	5,85 a
CS	5,40	5,52 a	5,45 b
Doses de gesso (t.ha ⁻¹)			
0		5,33 a	5,33 ^{ns}
2		5,24 a	5,35
4		5,04 b	5,11
Profundidade de solo (cm)			
0 - 5		5,30 a	5,43 a
5 - 10		5,32 a	5,37 a
10 – 15		5,22 a	5,19 b
15 – 20		4,96 b	5,05 b

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

ns = não significativo.

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Referente ao efeito da profundidade do solo (Tabela 3), os resultados observados corroboram a vasta literatura sobre o tema, indicando que, à medida que o solo se aprofunda, o pH em água tende a diminuir, ou seja, o solo torna-se mais ácido. Esses resultados confirmam estudos que apontam para a maior acidez nas camadas mais profundas do perfil do solo. Ernani *et al.* (2001) destacam que a aplicação superficial de corretivos de acidez não alterou a composição química do solo abaixo de 30 cm, indicando que o pH em profundidade tende a ser mais ácido e menos afetado pela calagem superficial. Dessa forma, a acidez do subsolo permanece uma limitação importante para o desenvolvimento radicular e para a produtividade das culturas.

Além disso, o Manual de Calagem e Adubação do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) reforça que a acidez e o alumínio trocável tendem a aumentar com a profundidade do solo, especialmente em Latossolos e Argissolos, o que resulta em pH mais baixo nas camadas subsuperficiais.

Quanto às doses de gesso (Tabela 2), os resultados indicaram que, em média, o pH em água foi menor na dose de 4 t.ha⁻¹. Não houve um efeito que possa ser cientificamente correlacionado, pois o gesso não atua sobre a correção do solo. Atribui-se a esse resultado o efeito da variabilidade entre repetições.

O gesso não possui efeito corretivo sobre a acidez do solo, ou seja, não eleva o pH nem neutraliza o alumínio da camada superficial. Seu principal efeito ocorre nas camadas subsuperficiais (20–40 cm), onde promove a mobilidade do cálcio, favorecendo o crescimento radicular em profundidade, o que é essencial em condições de estresse hídrico (Sousa; Lobato, 2004). Segundo os autores, “o gesso agrícola não deve ser usado com a finalidade de corrigir a acidez do solo, pois não modifica o pH nem o Al trocável da camada superficial”. Portanto, o uso do gesso deve estar associado a estratégias complementares de calagem, como é o caso deste trabalho.

Referente aos manejos de solo foi possível afirmar que práticas que incluem a calagem, seja ela superficial sobre o sistema plantio direto (CS) ou calagem seguida da aplicação do descompactador rotativo Vollverini (EC), elevaram o pH do solo em comparação aos demais, isso 3 meses após a aplicação dos manejos (Tabela 2). Ao final do ciclo da soja, aproximadamente 7 meses após a aplicação dos manejos, a calagem associada ao descompactador rotativo Vollverini foi quem apresentou o maior pH em água (5,85), sugerindo que entre os primeiros 3 meses e a coleta de solo após a cultura ainda houve reações no solo e o manejo mecânico contribuiu para que o calcário pudesse reagir (Tabela 2). Essa afirmação é interessante, pois para que a reação do calcário no solo aconteça é preciso que haja contato do corretivo com a água presente no solo (ou nos poros do solo). Ao que parece, o manejo mecânico contribuiu para a melhoria das condições físicas do solo e da reação de correção da acidez. Tal resultado vem ao encontro de demais trabalhos sobre o equipamento e seus benefícios no aumento da aeração e infiltração de água no solo que foram desenvolvidos noutros anos em projetos de pesquisa.

O trabalho de Demboski (2023) aponta que o manejo utilizando o descompactador rotativo Vollverini diferiu estatisticamente do plantio direto, promovendo a diminuição da densidade do solo, da resistência à penetração (RP) e aumentando a porosidade total.

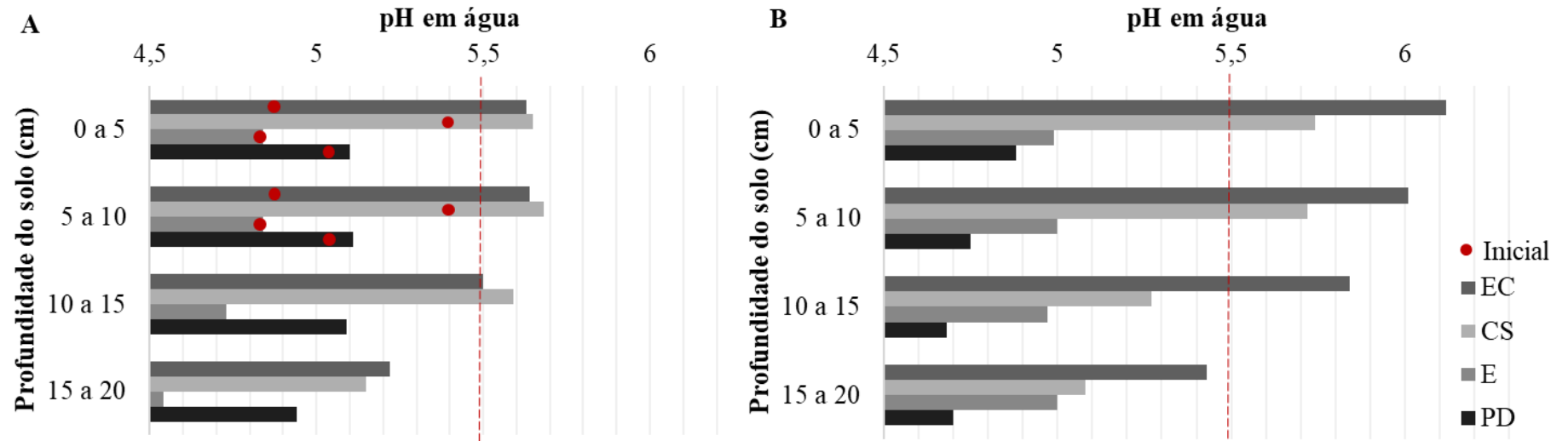
Ainda, mesmo que os resultados não tem diferido estatisticamente (salientando que o pH do solo é medido em escala logarítmica e que as pequenas variações numéricas entre os tratamentos possam não expressar-se estatisticamente, mas tem efeitos importantes de cunho prático), percebeu-se que o pH em água ficou acima de 5,5, considerado como critério de necessidade de calagem pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande

do Sul e Santa Catarina (2016), até a camada de 0 - 0,15 m no manejo onde utilizou-se o Vollverini; enquanto que, a calagem superficial conseguiu elevar pH em água $> 5,5$ somente até a camada de 0 - 0,10 m, conforme pode-se visualizar na Gráfico 1.

No estudo conduzido por Zambrosi (2007), a aplicação de calcário promoveu aumento do pH do solo até a profundidade de 40 cm. A calagem realizada na superfície, tanto com dose única quanto com parcelamento, resultou em maior correção da acidez ativa na camada superficial do solo (0-5 cm), comparada à incorporação do calcário. Contudo, a incorporação do calcário mostrou-se mais eficiente para corrigir a acidez ativa nas camadas mais profundas, entre 5-10 cm e 10-20 cm.

Os resultados do presente estudo indicam que a calagem, principalmente quando associada ao descompactador rotativo Vollverini, promoveu melhorias na acidez do solo em camadas subsuperficiais (até 15 cm), favorecendo valores de pH superiores a 5,5 até esta profundidade. Esse comportamento é consistente com o estudo de Dalla Nora *et al.* (2017), que demonstrou que a aplicação combinada de calcário e gesso em Latossolos distróficos sob plantio direto contribui para a formação de uma camada mais espessa com melhor qualidade química (até 40 cm), refletindo em aumento significativo no rendimento de milho, trigo e soja.

Gráfico 1 - Valores de pH em água 3 meses após a aplicação dos tratamentos (A) e ao final do ciclo da soja (B) em função dos manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS) nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm. IFRS Ibirubá, 2024



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Quanto às variáveis referentes ao rendimento da cultura (Tabela 4) que foram avaliados, stand de plantas, altura de planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de grãos por legume (G/L), número de grãos por planta (G/P) e o peso de mil grãos (PMG), essas não apresentaram influência dos manejos adotados, tanto químico (calagem e gessagem) quanto físicos (manejo de solo).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as variáveis componentes de rendimento de soja safra 2023/2024: stand de plantas (plantas.m⁻¹), altura de plantas (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, mm), grãos por legume (G/L), grãos por planta (G/P), rendimento de grãos (kg.ha⁻¹) e peso de mil grãos (PMG) em função de manejos de solo. IFRS Ibirubá, 2024

Fatores de variação	GL	Quadrado Médio						
		Stand	AP	DHP	G/L	G/P	Rendimento	PMG
Manejo de solo (MS)	3	8,508841 ^{ns}	123,846825 ^{ns}	1,052469 ^{ns}	291,724774 ^{ns}	650,954028 ^{ns}	385660,30 ^{ns}	205,464019*
Resíduo a	9	2,796591	91,181668	0,714731	212,040978	647,705648	299886,74	15,274843
Dose de gesso (DG)	2	0,963681 ^{ns}	25,519127 ^{ns}	0,110265 ^{ns}	7,310208 ^{ns}	266,579219 ^{ns}	123216,78 ^{ns}	25,864727 ^{ns}
MS x DG	6	2,118437 ^{ns}	30,964460 ^{ns}	1,068084 ^{ns}	112,767847 ^{ns}	312,665955 ^{ns}	147208,11 ^{ns}	37,036502 ^{ns}
Resíduo b	72	1,705321	24,357248	0,891792	132,178586	304,707515	182583,78	77,193024
CV a (%)		23,07	11,25	8,80	24,40	20,07	19,28	2,21
CV b (%)		18,01	5,81	9,83	19,26	13,76	15,04	4,97

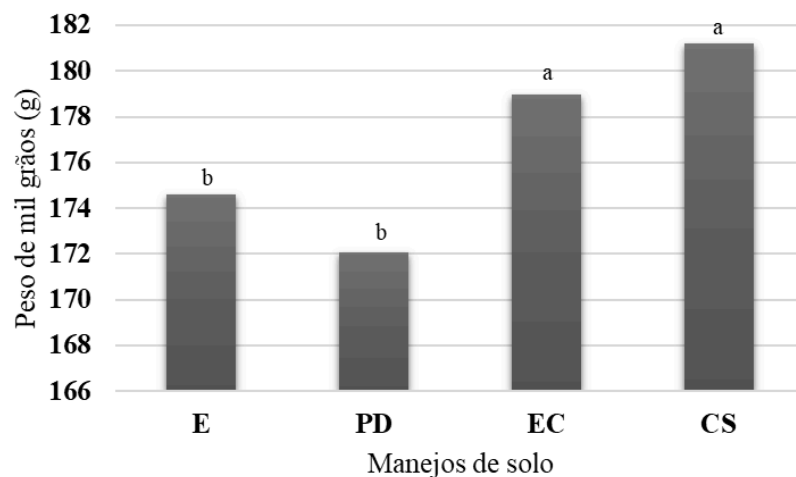
*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

ns= não significativo.

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Somente a variável peso de mil grãos foi influenciada pelos manejos de solo (Tabela 4). De acordo com o gráfico 2, o PMG foi maior nos manejos de solo que envolviam calagem (sem diferir entre descompactador Vollverini e calagem superficial) em comparação aos demais. Tal efeito é atribuído ao conhecido efeito benéfico da correção do solo sobre a dinâmica de nutrientes e, conseqüentemente, à produção vegetal.

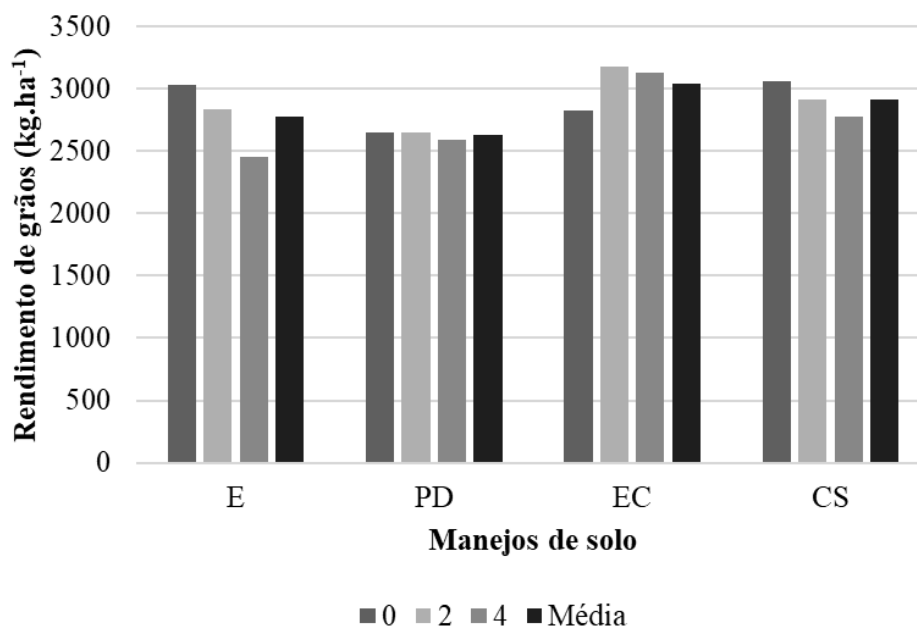
Gráfico 2 – Peso de mil grãos com os manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS). IFRS Ibirubá, 2024



* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Embora os tratamentos não tenham apresentado efeito sobre a produtividade da soja (Tabela 4), observou-se tendência de incremento produtivo nos tratamentos que incluíram o descompactador e a calagem (Gráfico 3), sugerindo que as melhorias nas condições químicas e físicas do solo podem estar relacionadas ao desempenho agrônômico da cultura.

Gráfico 3 – Rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com os manejos de solo utilizando Vollverini (E), plantio direto (PD), Vollverini associado à calagem (EC) e calagem em sistema plantio direto (CS). IFRS Ibirubá, 2024



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Na média do experimento, o rendimento de soja safra 2023/2024 foi de $2840,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o equivalente a $47 \text{ sc}\cdot\text{ha}^{-1}$. Embora não tenha sido constatada diferença estatística quanto aos manejos, numericamente o maior rendimento foi obtido pelo manejo que inclui o uso de descompactador rotativo Vollverini, com média de $3044,34$, o que é aproximadamente $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a mais do que a média geral, conforme pode ser visualizado no gráfico 3. De forma semelhante, Dalla Nora *et al.* (2017) observaram respostas positivas em 82% dos cultivos avaliados, reforçando que práticas que favorecem a melhoria da qualidade química em profundidade são cruciais para o melhor aproveitamento do potencial das cultivares modernas, especialmente sob condições de subsolo ácido. Demais trabalhos como de Sávio (2011) e Rheinheimer *et al.* (2000) relatam que a aplicação de calcário na superfície do solo promove incrementos no rendimento das culturas, cuja magnitude varia com a espécie e tipo de solo, nas condições de fertilidade, e também no pH inicial do solo.

Desejava-se com esse estudo apontar e recomendar um melhor manejo de solo que em níveis regionais pudesse repercutir na melhoria da correção do solo em subsuperfície e incremento de produtividade. A partir da análise dos dados, pode-se inferir que o uso de manejo mecânico do solo traz mais benefícios à reação do calcário em profundidade no solo do que o uso do gesso. Nas condições do presente estudo, o descompactador rotativo

Vollverini mostrou-se com potencial para auxiliar no processo de “descida” do corretivo de acidez no solo e na melhoria das condições para que este reaja no solo. No presente estudo uma pequena dose de calcário foi aplicada ao solo e mesmo assim já foi possível observar reação de incremento de pH em água em profundidade. Imagina-se que, em nível de lavouras comerciais, onde doses maiores ($> 3 \text{ t.ha}^{-1}$) de calcário são aplicadas, o uso de descompactadores possam contribuir mais com a incorporação do corretivo em profundidade. No entanto, mais pesquisas são necessárias para que essa observação possa ser confirmada.

3 CONCLUSÃO

Os manejos de solo que envolviam aplicação de corretivo de acidez proporcionaram aumento significativo nos valores de pH do solo e também no peso de mil grãos (PMG) de soja, ressaltando sua importância na correção da acidez e no desempenho produtivo da cultura da soja.

O manejo de solo utilizando o implemento Vollverini associado à calagem foi eficiente na incorporação do calcário em maiores profundidades no solo (15 cm), contribuindo para a correção da acidez.

As doses de gesso não influenciaram a acidez ativa nem os componentes de rendimento de soja.

Os manejos de solo associados à gessagem não influenciaram sobre o rendimento da cultura de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERI, M. *et al.* Trial on soil bioactivity under no-tillage in succession or rotation of winter and summer crops. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, p. 121-130, 2019.
- CAIRES, P. E.; CHUEIRI, A. W.; MADRUGA, E. F. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivos sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 789-796, 2005.
- CARVALHO, M.C.S. **Calagem**. Embrapa Arroz e Feijão, 6 out. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/calagem>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.
- DE OLIVEIRA, F. A. *et al.* **Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja**. 2023.
- DENARDIN, J. E. **Desafio do Plantio Direto**. Embrapa Trigo, 9 abr. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/9697114/artigo---desafio-do-plantio-direto>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- DENARDIN, J. E.; LEMAINSKI, J. **Sistema Plantio Direto: conservar para produzir melhor**. Porto Alegre: Programa Estadual de Conservação do Solo e da Água, 2018. 24 p.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. A.; WIETHOLTER, S. **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista**. Embrapa, Documento 141, 2012.
- DÊMBOSKI, D. M. **Avaliação dos parâmetros físico-hídricos do solo após uso de descompactador como inovação tecnológica no manejo**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Ibirubá, 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Plantio Direto**. Embrapa, 21 jan. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. **Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola**. *Scientia Agricola*, v. 58, p. 825-831, 2001.
- FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MORAES, M. F. **Influência do calcário e gesso na produção e nas propriedades químicas do solo cultivado com soja**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA – VI Soja, 2012, Cuiabá. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/929517/1/328s193.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S.; AGRANONIK, C. **Painel do Agronegócio no Rio Grande do Sul 2016**. Porto Alegre: FEE, 2016.

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema de plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 86-96, abr./jun. 2017.

LAL, R. **Soil organic matter and water retention**. *Agronomy Journal*, v. 112, n. 5, p. 3265–3277, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>. Acesso em: 5 maio 2025.

LIMA NEPOMUCENO, A.; BOUÇAS FARIAS, J. R.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>. Acesso em: 10 jul. 2024.

LOPES, A. S. **Solos sob 'Cerrado': características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto Internacional de Potassa, 1984.

MARTINS, I. D. **Influência de manejos de solo sobre as propriedades físico-hídricas do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, 2023.

MISSÃO, M. R. Soja, origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. *Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais*, v. 3, n. 1, p. 7-15, jan./jun. 2006.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

NUNES, J. L. **Histórico da soja**. 11 ago. 2020. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/historico_361541.html. Acesso em: 08 jul. 2022.

PAULETTI, Volnei et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

REIS, L. S.; SILVA, E. D.; BARROS, B. G. A.; OLIVEIRA, F. J. V. de. **Compactação do solo: uma visão agrônômica e ambiental**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, 2022.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M. **Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso**. *Ciência Rural*, v. 30, p. 263-268, 2000.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: causas e efeitos**. Semina: Ciências Agrárias, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

SÁVIO, F. L. et al. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2011.

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. (Ed.) Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, 2015.

SÉRIO, D. **Principais características do latossolo e sua importância no Brasil**. Nutrição de Safras, 8 out. 2024. Disponível em: <https://nutricaoodesafras.com.br/principais-caracteristicas-do-latossolo-e-sua-importancia-no-brasil>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SPERA, S.T. *et al.* **Estratificação química e física em solos manejados com sistema plantio direto em mato grosso - entraves à produção das culturas**. Embrapa, Sinop, MT: 2018. Embrapa. Documentos, n. 7.

SILVA, R. P. da *et al.* **Compactação do solo, escarificação e subsolagem**. Material Didático. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus Jaboticabal – SP, maio 2005.

SINDMILHO & SOJA. **Soja e suas riquezas – História**. Sindicato da Indústria do Milho, Soja e seus Derivados no Estado de São Paulo – 2022. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/sindmilho/sobre-o-sindmilho/curiosidades/soja-e-suas-riquezas-historia/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

Sistema Plantio Direto não é empregado corretamente. **Agrolink**, 13 abr. 2012. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/sistema-plantio-direto-nao-e-empregado-corretamente-147666.html>. Acesso em: 30 jun. 2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 265 p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008.

TIECHER, T. *et al.* Resposta de culturas à aplicação de gesso em solos subtropicais sob plantio direto no Brasil: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. e0170025, 2018.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. **Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto**. Bragantina, v. 66, p. 487-495, 2007.

ZANDONÁ, R. R. *et al.* **Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.