UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

JAQUELINE THAÍS JASTER

PRODUTIVIDADE DA SOJA, QUALIDADE ESTRUTURAL E PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES DENTRO E FORA DOS TERRAÇOS

CERRO LARGO
2025

JAQUELINE THAÍS JASTER

PRODUTIVIDADE DA SOJA, QUALIDADE ESTRUTURAL E PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES DENTRO E FORA DOS TERRAÇOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Jaster, Jaqueline Thaís
Produtividade da soja, qualidade estrutural e propriedades químicas de um latossolo em diferentes posições dentro e fora dos terraços / Jaqueline Thaís Jaster. -- 2025.
46 f.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2025.

1. Erosão hídrica. 2. Sistema de terraceamento. 3. Sistema plantio direto. 4. Estrutura do solo. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JAQUELINE THAÍS JASTER

PRODUTIVIDADE DA SOJA, QUALIDADE ESTRUTURAL E PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES DENTRO E FORA DOS TERRAÇOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 28/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
DOUGLAS RODRIGO KAISER
Data: 15/12/2025 09:55:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br
RENAN COSTA BEBER VIEIRA
Data: 12/12/2025 17:26:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS
Avaliador

Documento assinado digitalmente
gov.br
HENRIQUE DEBIASI
Data: 12/12/2025 11:51:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Henrique Debiasi – Embrapa Soja
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, Darci e Evelin, que sob muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Darci Jaster e Evelin Nordani Fritz, por nunca medirem esforços para me apoiar nesta jornada acadêmica e me ensinarem princípios e valores que levarei por toda vida.

Agradeço aos meus avós maternos Iria Terezinha Fritz e Fridolino Fritz e também, aos meus avós paternos, que iniciaram está jornada comigo e não puderam estar presentes para prestigiar a conquista, Erica Mantey Jaster e Willy Jaster (*In memoriam*). O seu amor e carinho me deram forças para não desistir dos meus sonhos.

Agradeço ao Professor e Dr. Douglas Rodrigo Kaiser, que me orientou durante o desenvolvimento deste trabalho, com muita paciência e dedicação, contribuindo para minha formação acadêmica e ética profissional.

Agradeço aos amigos que dividiram o peso do processo de se tornar Eng. Agrônomo, Ari Thum Reinke, Débora Minuzzi Melchior, Simone Aline Kieling e Guilherme Bueno. Aos amigos que mesmo de longe, sempre estiveram presentes e me apoiando, Bruna Maísa Karsburg, Sandy Vieira Bonfada, Thaila Moreira de Oliveira, Caroline Jaster Grosmann e Talita da Silva Ferreira.

Agradeço a Luara Mattos e Ariane Siqueira por dividirem morada comigo nesse período, por compartilhar momentos bons e de preocupação.

Agradeço as amizades feitas durante a faculdade, especialmente aqueles que ajudaram na realização do experimento, para que pudesse chegar até aqui.

Agradeço ao Sr. Bronildo José Wenzel, pela área cedida para que o experimento fosse desenvolvido e por sempre ser atencioso para qualquer questionamento.

Ademais, agradeço a todos os familiares, amigos e pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica.

Meu muito obrigada a todos, de coração!

RESUMO

A necessidade de aumentar a produção de grãos e, consequentemente, o uso intensivo das áreas agrícolas tem desencadeado alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A erosão hídrica pode ser considerada uma das principais formas de degradação do solo da região das Missões do Rio Grande do Sul, onde este experimento foi desenvolvido. O sistema plantio direto (SPD), surgiu como forma de mitigar as perdas de solo e água pelo processo erosivo, entretanto, só ele não é suficiente. O uso de práticas conservacionistas como forma de complementar o SPD tem proporcionado aumento na produtividade e conservação do sistema, entre elas, a diversificação de culturas, o cultivo em contorno e a implantação de terraços. Entretanto, pela falta de conhecimento e negligência dos produtores e, muitas vezes, informações equivocadas sobre o uso de terraços, este experimento buscou trazer uma nova percepção diante das adversidades climáticas enfrentadas na região. Diante disso, foi avaliada de forma integrada diferentes posições dentro e fora dos terraços para compreender se o desempenho da qualidade estrutural, as propriedades químicas e a produtividade da soja se mantém semelhantes, gerando informações que beneficiam produtores e técnicos para um manejo mais sustentável e aceitabilidade desta prática. O experimento foi realizado em uma área comercial com sistema de terraceamento do tipo base média, classificada como clima subtropical úmido e solo predominante Latossolo Vermelho. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, sendo três terraços e três tratamentos: camalhão (CAMA), canal (CANAL) e lavoura adjacente (LAV). Foi utilizado o método do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), realização da análise química do solo nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm bem como a estimativa da produtividade da soja com plantas colhidas em um comprimento de 2 m na linha de semeadura. A estrutura do solo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, classificada em boa e muito boa. A análise química apresentou acidez elevada na camada subsuperficial e necessidade de reposição de fósforo e potássio. A maior produtividade foi observada no canal pois, corresponde ao ambiente mais enriquecido em nutrientes devido ao acúmulo de água e sedimentos nesta porção do terraço.

Palavras-chave: erosão hídrica; terraceamento; produtividade; soja.

ABSTRACT

The need to increase grain production and, consequently, the intensive use of agricultural areas has led to changes in the physical, chemical, and biological properties of the soil. Water erosion can be considered one of the main forms of soil degradation in the Missões region of Rio Grande do Sul, where this experiment was conducted. The no-tillage system (NTS) emerged as a strategy to mitigate soil and water losses caused by erosive processes; however, by itself, it is not sufficient. The adoption of conservation practices to complement NTS has promoted increased productivity and system conservation, including crop diversification, contour farming, and terrace implementation. Nevertheless, due to a lack of knowledge and negligence by farmers and, in many cases, misleading information regarding the use of terraces, this experiment aimed to provide a new perspective in the face of the climatic adversities experienced in the region. Therefore, different positions inside and outside the terraces were evaluated in an integrated manner to assess whether structural soil quality, chemical properties, and soybean yield remain similar, generating information that benefits farmers and technicians by supporting more sustainable management and greater acceptance of this practice. The experiment was carried out in a commercial area with a medium-base terrace system, classified as humid subtropical climate, with Latossolo vermelho as the predominant soil type. The experimental design was completely randomized, consisting of three terraces and three treatments: ridge (CAMA), channel (CANAL), and adjacent field (LAV). The Quick Diagnosis of Soil Structure (DRES) method was applied, along with soil chemical analysis at depths of 0–10 cm and 10–20 cm, and soybean yield estimation based on plants harvested from a 2 m length along the sowing row. Soil structure showed no significant differences among treatments and was classified as good to very good. The chemical analysis showed high acidity in the subsurface layer and a need for phosphorus and potassium replenishment. The highest yield was observed in the channel, as it corresponds to the most nutrient-enriched environment due to the accumulation of water and sediments in this portion of the terrace

Keywords: water erosion; terracing; productivity; soybean.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aérea da área experimental com sistema de terraceamento, composto por 4 terraços de base média. 25
Figura 2 – Tratamentos avaliados nos 5 pontos do terraço 1, 2 e 3, respectivamente..... 26
Figura 3 - Autora atribuindo notas nas camadas do bloco de solo. 27
Figura 4 - Grãos de soja peneirados e armazenados em sacos plásticos identificados. 29
Figura 5 – Atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (QEc) em diferentes pontos de amostragem. 31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Índice da qualidade estrutural através do método do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo nos diferentes tratamentos. 30
Gráfico 2 – Produtividade da soja (Mg/ha) nos diferentes tratamentos avaliados. 35
Gráfico 3 – Peso de mil sementes de soja (g) nos diferentes tratamentos avaliados.....36
Gráfico 4 – Precipitação pluvial (mm) da área do experimento durante o ciclo da cultura, em dias após a semeadura.....37
Gráfico 5 – Temperatura máxima e temperatura mínima (ºC) da área do experimento, em dias após a semeadura. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis indicadores de acidez no solo e necessidade de calagem nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos. 33
Tabela 2 – Teores de MOS, argila e saturação de Al e bases nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos. 34
Tabela 3 – Teores dos macronutrientes cálcio, magnésio, fósforo e potássio nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos. 34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
SPD	Sistema plantio direto
MOS	Matéria orgânica do solo
CAMA	Camalhão
CANAL	Canal
LAV	Lavoura
DRES	Diagnóstico Rápido da Estrutura do solo
cm	Centímetro
m	Metros
Mg	Megagrama
ha	Hectare
g	Gramas
PMS	Peso de mil sementes
DAS	Dias após a semeadura
mm	Milímetros
ºC	Graus Celsius
CV	Coeficiente de variação
Pr > F	Probabilidade de significância do teste F (valor de p)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 OBJETIVOS 15
2.1 OBJETIVO GERAL 15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
3 REVISÃO DE LITERATURA 16
3.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO RIO GRANDE DO SUL E PRINCIPAIS PROBLEMAS RELACIONADOS AO MANEJO DO SOLO 16
3.1.1 Erosão do solo 17
3.1.2 Compactação do solo 18
3.2 PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA 19
3.2.1 Sistema plantio direto 19
3.2.2 Terraceamento 20
3.2.3 Cultivo em contorno 21
3.3 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO 21
3.4 FERTILIDADE DO SOLO 23
4 MATERIAL E MÉTODOS 25
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 25
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 26
4.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA SOJA 26
4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO 27
4.5 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO 28
4.6 ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA SOJA 28
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA 29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
5.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO 30
5.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO 33
5.3 PRODUTIVIDADE DA SOJA 35
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39
REFERÊNCIAS 40

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e, consequentemente, a necessidade do aumento da produção de alimentos, tem intensificado o avanço tecnológico e pesquisas de aporte científico, com o objetivo de produzir de forma sustentável e com alto rendimento. Na safra 2024/25 a estimativa de produção de grãos chegou a 330,3 milhões de toneladas (CONAB, 2025). O manejo e uso do solo adequado bem como a adoção de práticas conservacionistas, tem papel fundamental para o bom desenvolvimento das culturas e manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

O sistema plantio direto (SPD) surgiu na década de 70 como forma de mitigar as perdas de solo e água pelo processo erosivo. Além disso, o SPD protege o solo do impacto direto das gotas, aumenta o aporte de matéria orgânica do solo (MOS) e favorece o desenvolvimento da microbiota responsável pela ciclagem de nutrientes. É primordial para implantação do SPD que ocorra a rotação de culturas via diversificação de espécies e o solo seja permanentemente coberto com cobertura vegetal (Ferreira; Amado; Rice, 2016). O ideal é que a manutenção permanente de palhada pela rotação de culturas seja sempre superior a 12,0 t/ha/ano.

A qualidade física do solo também é um fator que interfere diretamente no desenvolvimento e crescimento das plantas, uma vez que influencia na disponibilidade de água e nutrientes, aeração do solo e resistência à penetração. Uma boa estrutura física favorece o fluxo hídrico, a aeração, permitindo as trocas gasosas, a resistência à erosão, ao adensamento e à compactação do tráfego de máquinas, o desenvolvimento de microrganismos e o crescimento das raízes sem impedimentos para o seu ótimo funcionamento (Salton; Tomazi, 2014).

Entretanto, nos últimos anos a região sul do Brasil tem enfrentado graves danos devido ao mau uso das áreas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas. Pode-se citar a erosão hídrica como principal forma de degradação do solo em região de clima subtropical úmido (Hernani, *et al*., 2002). De acordo com Cassol e Lima (2003), as gotas de chuva exercem uma força de pressão e cisalhamento sobre as partículas da massa do solo através da energia cinética gerada, resultando em sua desagregação. Após ocorre o processo de transporte e a deposição das partículas em algum ponto distinto. De modo geral, a erosão causa danos severos em áreas agricultáveis, podendo ter efeito irreversível, além da deposição das partículas de solo em cursos de água, tornando-a inadequada para o consumo humano.

Com o intuito de mitigar o escoamento superficial, reduzir a erosão e promover uma agricultura conservacionista, mantendo a integridade física, química e biológica do ecossistema, a implantação do terraceamento vem se tornando uma tecnologia cada vez mais

importante. Machado e Wadt (2021), afirmam que somente o SPD é insuficiente para proteger o solo do impacto das gotas de chuva e promover maiores taxas de infiltração, especialmente relacionado a chuvas intensas e terrenos com declividade acentuada. Embora a implantação de terraços ser uma prática bastante antiga, atualmente observa-se dificuldades de aceitabilidade pelos produtores e problemas pelo seu mal dimensionamento (Griebler, *et al*., 2005), o que em grande parte pode ser atribuído à falta de assistência e conhecimento técnico sobre a utilização da prática e seus benefícios relacionados a produtividade e a sustentabilidade da área agrícola.

Entretanto, pela falta de conhecimento e negligência dos produtores e, muitas vezes, informações equivocadas sobre o uso de terraços, este experimento buscou trazer uma nova percepção diante das adversidades climáticas enfrentadas na região. O terraceamento consiste em uma prática conservacionista que reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração de água no solo disponível para as culturas. Diante disso, foi avaliada de forma integrada diferentes posições dentro e fora dos terraços para compreender se o desempenho da qualidade estrutural, as propriedades químicas e a produtividade da soja se mantém semelhantes, gerando informações que beneficiam produtores e técnicos para um manejo mais sustentável e aceitabilidade desta prática.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade estrutural e as propriedades químicas do solo, bem como a produtividade da soja safrinha, nos terraços e nas áreas adjacentes de uma lavoura comercial classificada como Latossolo, na região das Missões, no Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade estrutural do solo no canal, no camalhão e na lavoura, usando a metodologia do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES);
- Avaliar o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC) e os teores de matéria orgânica e de macronutrientes do solo no canal, no camalhão e na lavoura;
- Avaliar a produtividade da soja no canal, no camalhão e na lavoura.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO RIO GRANDE DO SUL E PRINCIPAIS PROBLEMAS RELACIONADOS AO MANEJO DO SOLO

O estado do Rio Grande do Sul (RS), representa um forte polo produtivo dentro do país, voltado principalmente ao setor agropecuário e à agricultura familiar. De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2017), as propriedades do sistema fundiário variam de grandes, médias ou pequenas unidades produtivas, diferenciando-se de acordo com as características de solo e ambientais de cada região, que podem apresentar maiores ou menores fragilidades. Entre as principais culturas de interesse econômico produzidas no RS, destacam-se a soja, o arroz, o milho e o trigo, sendo a soja a cultura de maior avanço nos últimos anos, tanto em áreas plantadas e economia do país como em quantidade exportada (FEE, 2015).

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas de interesse econômico e agronômico do Brasil, sendo cultivada em praticamente todo país. De acordo com o relatório publicado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), a soja totalizou uma área cultivada de 45,7 milhões de hectares na safra 2023/24. Sendo que em 2023, de acordo com a Radiografia da Agropecuária Gaúcha (2024), o RS ocupou o ranking de terceiro maior produtor de soja do país, com uma produção de 18,3 milhões de toneladas, além de uma exportação que gerou um total de US$ 6,36 bilhões.

A região das Missões, localizada no noroeste do estado e foco principal deste estudo, é composta por 25 municípios que, juntos, ocupam uma área total de 12.861,4 km² (FEE, 2023). É constituída, na sua maioria, de solos argilosos e profundos, como Latossolos e Nitossolos, naturalmente pobres em nutrientes e com alta suscetibilidade à compactação quando não manejados corretamente.

O solo, constituído de partículas minerais (areia, silte e argila), matéria orgânica, organismos vivos, água e ar, é a base da produção agrícola (Melo, *et al*., 2019). A restrição ao seu uso pode ser decorrente de fatores como declividade do terreno, condições climáticas extremas, pedregosidade, baixa fertilidade e acidez (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Entretanto, a restauração dos seus componentes pode ser relativamente lenta, dependendo do grau de perturbação ambiental, tornando essencial o seu manejo adequado (Stefanoski, *et al*., 2013).

Apesar da maioria das áreas agrícolas terem passado pela transição do plantio convencional para o SPD, a sucessão com baixa diversificação de culturas e produção de biomassa da parte aérea e raízes ainda está muito presente no sistema produtivo do RS,

reduzindo a qualidade do solo e, consequentemente, a produtividade. O sistema convencional promove alterações pronunciadas nas propriedades físicas do solo, se manifestando, de maneira geral, na densidade, na porosidade e na estrutura dos agregados, influenciando diretamente a infiltração de água, o processo erosivo e o desenvolvimento das plantas (Bertol, *et al*, 2004).

É comum a observação de problemas como compactação, infestação de plantas daninhas e alta incidência de pragas e doenças em áreas com baixa diversidade de espécies, especialmente em sistemas de produção de soja (Debiasi, *et al*., 2015). Sucessões entre soja, milho e trigo, lideram o sistema de produção da região das Missões, sendo as plantas de serviço pouco incluídas. Estas, tem como principal objetivo promover a diversidade das espécies, a ciclagem de nutrientes no solo, aporte de nitrogênio e carbono, e proteção do solo (Melo, *et al*., 2019). Além disso, plantas com sistemas radiculares distintos ajudam a aumentar a porosidade do solo, melhorando a infiltração, a aeração e o transporte de água para as plantas de interesse agronômico.

3.1.1 Erosão do solo

A erosão do solo caracteriza-se como um processo natural, podendo ocorrer até mesmo em ecossistemas equilibrados (Hernani, *et al*., 2002). Entre os tipos de degradação pode-se citar a erosão hídrica, erosão eólica, erosão química, erosão física e erosão biológica. É importante ressaltar que o homem pode influenciar no processo de erosão através de práticas de manejo inadequadas, resultando em severos danos ambientais. Os sistemas de preparo e de manejo do solo têm papel fundamental na conservação dos recursos, aumento da produtividade e estabilidade econômica dos agricultores (Hernani; Fabricio, 1999).

A principal causa de degradação do solo na região das Missões é proveniente da erosão hídrica. De acordo com Cassol e Lima (2003), o processo de erosão hídrica “envolve a desagregação de partículas do solo da sua massa original, o transporte dessas partículas (primárias ou agregados) e eventual deposição”. É um processo natural que ocorre no tempo e, quando não tomadas medidas de controle, pode resultar em uma área não agricultável. O impacto das gotas da chuva, ou ainda, “efeito splash”, tem efeito direto sobre as partículas minerais do solo e demais componentes a elas associados, como a MOS, a microbiota do solo, os fertilizantes e as sementes (Verdum, *et al*., 2016). A MOS é considerada um importante reservatório de carbono, com papel fundamental na regulação climática e mitigação dos gases do efeito estufa, além de contribuir nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Dick; Hanke, 2023).

O solo é um recurso natural não renovável (Bertol, 2019). Em escala global, cerca de 75 bilhões de toneladas de solo são perdidas de áreas agricultáveis todos os anos, resultando em perdas de US$ 400 bilhões em produção (FAO, 2016). Além disso, com cerca de um terço dos solos degradados pela erosão, há uma estimativa de redução de 10% da produção agrícola em 2050 (FAO, 2022). Assim, práticas de manejo conservacionista do solo tornam-se cada vez mais necessárias, tendo em vista que a erosão é um processo progressivo e o mal uso das áreas agrícolas favorece o processo erosivo, podendo resultar em danos irreversíveis. Pruski (2013), afirma que:

> Todo o esforço visando à redução da erosão hídrica deve estar voltado, portanto, à minimização do impacto associado aos agentes responsáveis pelo desprendimento das partículas de solo e à redução da capacidade de transporte do escoamento superficial. Todas as práticas que possibilitem a redução da energia cinética da chuva que é aplicada sobre a superfície do solo, o aumento da capacidade de armazenamento de água sobre a superfície ou no perfil do solo, o aumento da infiltração da água e da resistência do solo ao cisalhamento são favoráveis à redução da erosão.

3.1.2 Compactação do solo

Para Lima, *et al*. (2007), "a avaliação da qualidade do solo é a base para a quantificação da sustentabilidade agrícola". O solo é composto por agregados de partículas mineiras e orgânicas, preenchidas de espaços porosos que abrigam água e ar (Drescher, 2023). Deste modo, a porosidade e a densidade são indicadores importantes da qualidade física de um solo, indicando seu grau de compactação. A compactação deixa o solo suscetível ao processo erosivo, devido a menor infiltração de água e consequentemente, o escorrimento superficial (Sá; Junior, 2005). Reichert, *et al*. (2007, p. 50), explicam a influência da compactação na qualidade física do solo:

> Quando o solo é compactado, sua resistência é aumentada e a porosidade total é reduzida às custas dos poros maiores. Com isso, o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo são aumentados, enquanto a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas. Conseqüentemente, o escoamento superficial de água pode aumentar e o crescimento das plantas ser reduzido em virtude da diminuição da disponibilidade de água, restrição ao crescimento das raízes e aeração deficiente.

O enraizamento profundo é essencial para o desenvolvimento da planta, extração de água e nutrientes, além da estruturação do solo, mantendo a saúde do ecossistema. Plantas com sistema radicular fasciculado e de rápido crescimento podem proporcionar melhorias na qualidade física do solo, principalmente na estabilidade dos agregados e acréscimo de MOS (Salton; Tomazi, 2014). Quando em condições de solo compactado, as raízes têm dificuldade de crescer em profundidade, concentrando-se na camada superficial do solo.

Apesar do SPD favorecer a infiltração de água e proteger o solo do impacto direto das gotas, em razão da camada de palha sobre a superfície, impedimentos físicos na camada superficial devido ao manejo inadequado podem interferir negativamente na distribuição de água no perfil; já em sistema convencional, onde a palha é incorporada ao solo deixando sua superfície descoberta, é comum a ocorrência da erosão, onde toda camada superficial pode ser transportada do perfil (Silva, 2003).

3.2 PRÁTICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

3.2.1 Sistema plantio direto

A crescente necessidade de aumentar a produtividade por área está diretamente relacionada com a adoção de boas práticas de manejo do solo. O Sistema Plantio Direto (SPD) é um exemplo do avanço da ciência e pesquisa que obrigatoriamente realiza a rotação de culturas e mantém o solo permanentemente coberto, realizando o mínimo revolvimento do solo, apenas na linha de semeadura, preservando as características físicas, químicas e biológicas do ecossistema. O desenvolvimento do SPD no Brasil foi motivado principalmente pelas grandes perdas de solo decorrentes do processo erosivo na região sul do país, devido ao sistema convencional (Passos, *et al*., 2018).

A evolução da área de lavoura cultivada sob o SPD no Rio Grande do Sul pode ser explicada por Denardin, *et al*. (2001, p. 11) como “uma típica curva exponencial no período de 1976 a 1998 e por uma reta, de coeficiente angular negativo, no período de 1998 a 2000”. Porém, houve uma mudança nesse cenário nos últimos anos, com um crescente aumento de áreas manejadas com SPD em todo o Brasil, chegando a 33,06 milhões de ha no período de 2017/18 (FEBRAPDP, 2025). Apesar de na atualidade ainda haver um predomínio da sucessão de culturas, observa-se um grande incremento de palhada nas áreas agrícolas, favorecendo a fauna edáfica e incremento de matéria orgânica no solo. De acordo com Tormena, *et al*. (1998), o SPD quando manejado corretamente possui entre suas vantagens, o controle das perdas de solo e água, sendo essa técnica cada vez mais utilizada pelos agricultores.

O processo colher-semear do sistema diminui o preparo intensivo a longo prazo (Denardin; Faganello; Lemainski, 2019). O acúmulo de palhada no solo é responsável por manter o ambiente ideal para o desenvolvimento dos microrganismos, a umidade do solo por períodos mais longos, reduzindo o déficit hídrico e aumentando a infiltração de água, além de protege-lo do impacto direto das gotas de chuva e, consequentemente, evitando o escoamento

superficial. Porém, para que o SPD seja viável, é fundamental adaptar o sistema à cada região de acordo com suas características edafoclimáticas naturais (Cruz, *et al*., 2001).

O predomínio de sistemas de produção com baixa diversificação de culturas tem proporcionado alguns problemas fitossanitários e de manejo do solo nas lavouras brasileiras, podendo-se citar, a compactação do solo, infestação de plantas daninhas devido à resistência que adquirem ao longo dos seus ciclos e alta incidência de pragas e doenças (Debiasi, *et al*., 2015). O principal objetivo da diversificação de culturas é melhorar a saúde do solo, reduzir a incidência de pragas e doenças e, consequentemente, aumentar a produtividade. Apesar de sua ampla produção mundial e influência econômica, os sistemas de produção de soja apresentam pouca diversificação em todo o país, como as sucessões soja/milho, soja/trigo e soja/pousio (Debiasi, *et al*., 2017).

O sistema agrícola produtivo é constituído de três pilares básicos: clima, solo e planta. A planta, entretanto, deve expressar o potencial genético da espécie, levando em consideração a adaptabilidade, seu uso e manejo, interagindo com o fator solo e clima (Denardin, 2018). A diversificação de espécies promove a maior fertilidade do solo e evita os danos causados pelo monocultivo. Deste modo, conforme Debiasi, *et al*. (2015), a diversificação pode ser através do sistema rotação de culturas, que compreende a alternância de diferentes culturas na mesma área e estação do ano, ou pelo sistema de sucessão de culturas, que consiste no ordenamento de duas culturas na mesma área por período indeterminado, cultivadas em estações do ano diferentes.

Na fase inicial do sistema de rotação de culturas, é recomendada a implantação de espécies que tenham elevada relação C/N para formação de grande quantidade de palhada, garantindo a lenta decomposição, além da sua distribuição homogênea sobre a superfície do solo, com pelo menos 80% dele coberto (Hernani *et al*., 2002). É considerado o princípio básico para obtenção de sucesso na implantação do SPD, pois, reduz o intervalo entre a colheita e semeadura e mantém o solo coberto permanentemente (Debiasi, *et al*., 2015).

3.2.2 Terraceamento

Apesar do sistema de terraceamento ser bastante antigo, ainda restam muitas dúvidas pelos agricultores em relação a sua implantação, principalmente relacionadas ao manejo e mecanização. Isso ocorre principalmente pela falta de informação técnica e incentivo por parte governamental. A retirada dos terraços em SPD, consiste em uma alternativa equivocada, sem comprovação científica para tal (Londero, 2015). Verdum, *et al*. (2016) caracterizam terraço como uma estrutura conservacionista composta por um camalhão e um canal, construído

transversalmente à declividade do terreno, sendo o tipo e espaçamento definidos levando-se em consideração a classe de solo e o uso e manejo adotado na área.

O terraceamento reduz o comprimento da rampa, consequentemente, diminui o volume e a velocidade do escoamento superficial, evitando o processo erosivo e deposição do solo no canal (Bertol; Cogo; Cassol, 2000). Os terraços são classificados em diferentes tipos e, conforme citado por Pruski (2013), a seleção do mais adequado para cada área varia em função da declividade do terreno, tipo de solo, cultura implantada, condições climáticas da região, sistema de cultivo e maquinários disponíveis pelo produtor. Além disso, os terraços são classificados em dois grandes grupos básicos de acordo com a função que exercem, ou seja, terraços de nível (infiltração), recomendados para solos com boa permeabilidade e infiltração em profundidade no perfil e, terraços de desnível (drenagem), recomendados para solos com lenta a moderada permeabilidade, com infiltração de água reduzida (Wadt, 2003).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a adoção do SPD diminuiu a utilização de terraços pelos produtores, essencial para disponibilidade de água e sua proteção no sistema. Quando essas duas práticas conservacionistas são utilizadas simultaneamente, a infiltração de água aumenta e perdas por escoamento diminuem, além de reduzir o acúmulo de água em locais de maior declividade da lavoura.

3.2.3 Cultivo em contorno

O cultivo em contorno é, em geral, considerado trabalhoso e sem retorno econômico pelo produtor, o que implica na adoção dessa prática em muitos casos. Entretanto o cultivo no sentido da declividade do terreno tem impacto direto na retenção de água na rugosidade, aumenta o escoamento superficial e condiciona o processo erosivo (Londero, 2015). Em períodos de chuvas intensas, a declividade acentuada promove a enxurrada, e a energia de cisalhamento adquire capacidade de remover o resíduo da superfície do solo, o que pode resultar na erosão em sulcos (Barbosa *et al*., 2012).

3.3 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

A estrutura do solo se caracteriza pela agregação das partículas primárias (areia, silte e argila), atribuída a componentes mineralógicos e orgânicos (Capeche, 2008). Explicam Ralisch, *et al*. (2017, p. 10):

> Por influenciar a capacidade de troca de íons, a aeração, a infiltração e disponibilidade de água, a atividade biológica, determinar a qualidade do manejo e sua relação com a gestão do ambiente, definir o potencial de produção vegetal e o desempenho econômico dos sistemas agrícolas, a estrutura é um dos atributos mais importantes a ser estudado e monitorado nas avaliações de manejo do solo e dos sistemas de produção agropecuários.

O processo de agregação das partículas ocorre através de uma força exercida pelos agentes cimentantes, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos que interagem entre si de forma contínua no solo proporcionando a estabilização das partículas (Lima; Kaiser, 2023). A matéria orgânica e os minerais são agentes cimentantes de forte influência na agregação do solo (Kiehl, 1979). Os agregados, em geral, indicam a fertilidade do solo e restringem o seu manejo para manter a sua estrutura (Ralisch, *et al*., 2017). O excesso de mecanização e outras práticas inadequadas de manejo do solo predispõem à destruição dos agregados, promovendo a compactação do solo e reduzindo a atividade biológica, a aeração, a infiltração e disponibilidade de água, que são atributos essenciais para o enraizamento e desenvolvimento vegetativo.

O preparo convencional tem diminuído a qualidade física das áreas agrícolas a longo prazo, resultando em áreas degradadas pelo processo erosivo. Apesar de não haver um método de quantificação direta da estrutura do solo, Corrêa (1985), afirma que pode ser quantificada de maneira indireta, através da análise de agregados, porosidade total e distribuição dos poros, classificados em macro e microporos. Em relação a função, os microporos são responsáveis pela retenção de água enquanto os macroporos promovem a circulação de água no solo (Lima; Pillon; Lima, 2007).

A estrutura é considerada um dos atributos físicos mais importantes do solo, pois abrange informações sobre o seu uso e manejo. Capeche (2008), define a estrutura como o agrupamento de macro e microagregados do solo, que, se organizam geometricamente entre si. O solo é a base primordial para o crescimento das raízes, retenção e infiltração de água e atuação da fauna biológica. Neste sentido, é mais importante que o solo expresse seu potencial e retenha água para disponibilizar às raízes em profundidade, do que o conteúdo de água a ele submetido (Sá; Junior, 2005).

O uso intensivo do solo para produção agrícola acarreta em alterações drásticas em suas propriedades físicas. Algumas práticas de manejo utilizadas podem ter danos permanentes ou temporários (Richart, *et al*., 2005). Com o objetivo de identificar e melhorar a qualidade estrutural dos sistemas de produção, foi desenvolvido por Ralisch, *et al*. (2017), o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Um método visual utilizado a campo e acessível aos usuários.

O DRES é utilizado para qualificar os primeiros 25 cm do solo, analisando características visuais como tamanho e forma dos agregados, indícios de compactação ou degradação, resistência dos agregados, distribuição ao longo do perfil, crescimento das raízes e atividade biológica (Ralisch, *et al*., 2017). Consiste em um método simples e eficaz que pode ser utilizado pelo produtor sem causar interferências drásticas.

Com o diagnóstico da estrutura do solo é possível tomar medidas de manejo que melhorem a qualidade física do solo como, escarificação e rotação de culturas. Incluir no sistema produtivo plantas com vasto sistema radicular, ou seja, plantas "produtoras de raízes", pode proporcionar melhorias significativas na estrutura do solo, além do acúmulo de MOS (Salton; Tomazi, 2014).

3.4 FERTILIDADE DO SOLO

A fertilidade que um solo apresenta é fundamental para uma boa produtividade, levando em consideração as necessidades da cultura de interesse agronômico. A análise química do solo, entretanto, é a ferramenta usual para avaliar sua fertilidade e permitir a tomada de decisão (Oliveira, *et al*., 2007).

A análise química fornece informações importantes sobre presença de acidez no solo e necessidade de calagem, disponibilidade de macro e micronutrientes, capacidade de troca de cátions (CTC), teor de matéria orgânica e textura do solo. A recomendação de fertilizantes utiliza a estimativa de nutrientes disponíveis no solo com a capacidade de extração das raízes das plantas (Sobral, *et al*., 2015).

Os solos do RS são predominantemente ácidos, decorrente da decomposição do seu material de origem e formação de argilominerais e óxidos. Isso ocorre, explica Santos, *et al*. (2016), pela alta concentração do íon H+ em solução e, com o avanço do intemperismo, favorece a liberação de Al, ocorrendo a lixiviação de cátions básicos como, cálcio, magnésio e potássio. Tendo como resultado baixo pH e altos valores de H+Al, alta saturação da CTC por Al e baixa saturação por bases.

A recomendação de adubação de fósforo (P) e potássio (K) é feita com relação a exigência da cultura, textura do solo e sua disponibilidade nos solos (Oliveira, *et al*., 2007). O P é responsável pela produção de ATP na planta, sendo necessária uma alta disponibilidade na solução do solo para suprir as taxas de absorção (Ventimiglia, *et al*., 1999).

A MOS é naturalmente composta por macro e micronutrientes, melhora a estrutura do solo e aumenta sua fertilidade (Ronquim, 2020), quando apresenta teores baixos é importante

aumentar seus teores no perfil, com práticas de rotação, cobertura, resíduos e compostos. Além disso, a mínima mobilização do solo adotada no SPD altera a dinâmica da MOS e dos nutrientes, ficando disponível para as culturas sucessoras (Sá, *et al*., 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em uma lavoura comercial localizada no município de Cerro Largo – RS, na região das Missões do estado, com as coordenadas de 28°08'45"S e 54°45'43"W, a uma altitude de 247 m. O clima é caracterizado, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, como subtropical úmido (Cfa) e o solo predominante como Latossolo Vermelho, pertencente a unidade de mapeamento de Santo Ângelo (Lemos, 1973).

A área se caracteriza pela semeadura direta durante 40 anos, com rotação de culturas, como soja, trigo, plantas de cobertura e milho. Apresenta quatro terraços do tipo base média, em uma área de 10 hectares (Figura 1). Os terraços foram implantados há 45 anos atrás, utilizando um arado de 3 discos. O estudo foi conduzido no período entressafra da cultura do milho e do trigo, com a implantação da soja safrinha.

Figura 1 - Vista aérea da área experimental com sistema de terraceamento, composto por 4 terraços de base média.

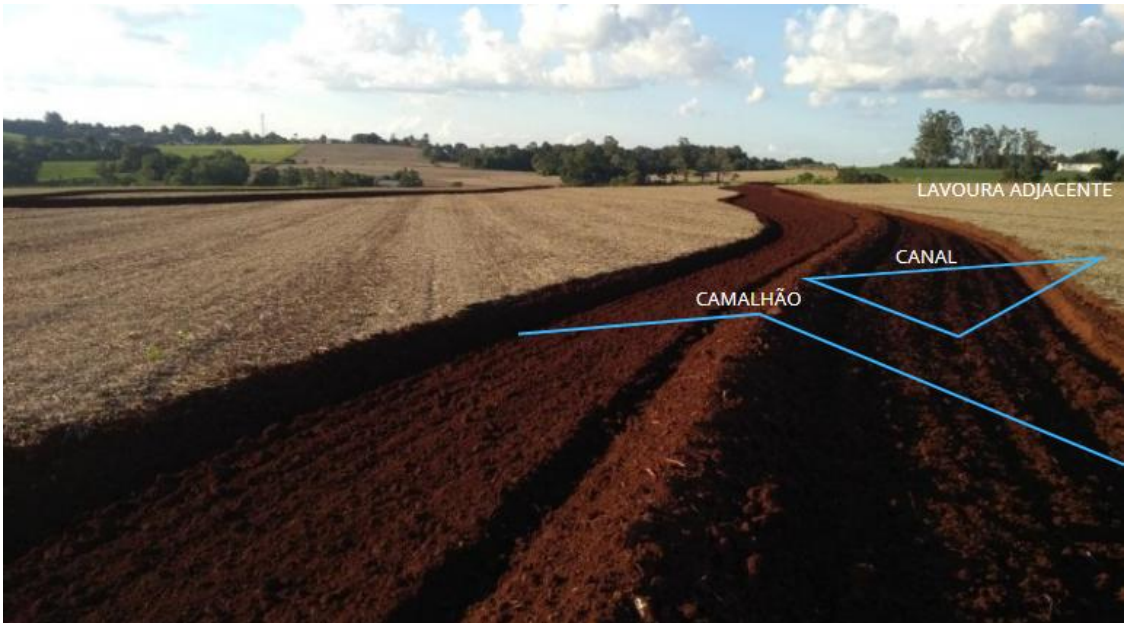


T1= terraço 1, T2 = terraço 2, T3 = terraço 3 e T4 = terraço 4.
Fonte: Google Earth (2025).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC). Foram selecionados os terraços 1, 2 e 3 da área experimental (Figura 1), pois estes apresentam características mais homogêneas e melhor conservação das suas características inicias. Em cada terraço foram definidos 5 pontos e os tratamentos consistiram em diferentes posições de cada ponto, onde foram feitas as avaliações: (1) no canal do terraço, (2) na crista do camalhão do terraço, e (3) 20 m acima do terraço na lavoura adjacente (Figura 2). Dessa forma, obteve-se um total de 45 unidades experimentais (3 tratamentos x 5 pontos x 3 terraços), onde foram avaliadas a qualidade estrutural do solo, as propriedades químicas e a produtividade da soja.

Figura 2 – Tratamentos avaliados nos 5 pontos do terraço 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Freddi (2025).

4.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA SOJA

A semeadura da soja safrinha, da cultivar DM 70I71 IPRO foi realizada no dia 19 de janeiro de 2025, respeitando a época recomendada de acordo com o Zoneamento de Risco Climático (ZARC), que ocorreu de 1º de outubro de 2024 a 28 de janeiro de 2025 (MAPA, 2025). A densidade utilizada foi de 19 sementes m^{-1} e espaçamento entre linhas de 0,50 m, utilizando semeadora-adubadora de precisão de 7 linhas tratorizada.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

Para avaliar a qualidade estrutural do solo foi utilizada a metodologia do DRES, nos dias 11 e 15 de abril de 2025. Primeiramente, com o auxílio de uma pá e enxadão realizou-se a retirada da cobertura vegetal dos pontos e a abertura de mini trincheiras, retirando assim, um bloco de solo com 10 cm de espessura, 30 cm de largura e 25 cm de profundidade.

Após a retirada dos blocos de solo, estes foram depositados sobre uma bandeja de plástico com dimensões de 25 x 45 cm, onde, com as mãos, foi realizada uma suave força física para fragmentação do solo e, em seguida, mediu-se as camadas que, variam de uma a três, conforme homogeneidade. Em cada camada foi atribuída notas de 1 a 6, conforme tabela do DRES (Figura 3). As notas variam de acordo com a estrutura do solo, analisando o tamanho, grumosidade e a coesão entre os agregados, além da porosidade, cor, presença e aparência morfológica de raízes e presença da fauna edáfica. A nota 1 para uma estrutura degradada, com predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis, baixa atividade biológica e forte restrição de desenvolvimento radicular e, a nota 6, corresponde a um diagnóstico muito bom do solo, com estrutura friável, agregados muito grumosos, alta atividade biológica e raízes abundantes e bem distribuídas.

Figura 3 - Autora atribuindo notas nas camadas do bloco de solo.



Fonte: Novak (2025).

Após a atribuição de nota para cada camada, determinou-se a qualidade estrutural do solo na amostra avaliada (IQEA), obtendo uma nota de cada amostra. A fórmula utilizada para o cálculo do IQEA, foi a seguinte: $IQEA = (Ec1\ x\ Qec1)+(Ec2\ xQec2)+(Ec3\ xQec3)/Etotal$. Onde:

Ec: espessura de cada camada, em cm;

Qec: nota de qualidade estrutural atribuída em cada camada;

Etotal: espessura/profundidade total da amostra (25cm).

4.5 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As coletas das amostras de solo para análise química foram realizadas nos dias 11 e 15 de abril de 2025. Inicialmente, foi retirado o material da superfície do solo e abertas mini trincheiras com o auxílio de uma enxada e, com uma régua, mediu-se camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Com uma pá as camadas foram retiradas e colocadas em baldes plásticos limpos para homogeneizar o solo e depois colocadas em sacos plásticos identificados. As amostras retiradas foram de 500 g a 1 kg.

No laboratório de Física do Solo da universidade, as amostras foram peneiradas e realizou-se 6 amostras compostas, ou seja, foram juntadas as amostras de cada tratamento dos 3 terraços: camalhão na camada 0-10 cm, camalhão na camada 10-20 cm, canal na camada 0-10 cm, canal na camada 10-20 cm, lavoura na camada 0-10 cm e lavoura na camada 10-20 cm. Para composição utilizou-se a mesma medida de cada amostra e homogeneizadas em sacos plásticos identificados.

Essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de análise química de solo da UFSM em Santa Maria/RS, onde foram determinados o pH, os teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, alumínio e MOS.

4.6 ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Para estimar a produtividade da soja realizou-se a colheita de forma manual no dia 14 de maio de 2025, com o auxílio de foices. Foram medidos 2 m de comprimento em uma linha de semeadura e as plantas foram cortadas rente ao solo e, em seguida, colocadas em bolsas e identificadas. Após a colheita a soja foi armazenada em estufa de secagem a 40 ºC, por 48h.

No dia 17 de maio de 2025, realizou-se a debulha dos grãos de soja de forma manual, que foram em seguida peneirados para retirada das impurezas. Estes foram armazenados em sacos plásticos e identificados (Figura 4). No dia 20 de maio de 2025, foi realizada a pesagem dos

grãos de cada saco plástico, sendo os valores anotados em tabelas. Também foi retirada uma amostra de 50 a 70 g de cada saco e colocadas em latas de metal previamente pesadas e depois pesadas juntamente com as amostras de soja. Em seguida, as latas contendo as amostras foram levadas até a estufa a 105 ºC por 48h e pesadas novamente para obter o teor de umidade por diferença de peso dos grãos secos. A produtividade foi calculada através da padronização da umidade a 13%.

Figura 4 - Grãos de soja peneirados e armazenados em sacos plásticos identificados.



Fonte: Autora (2025).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

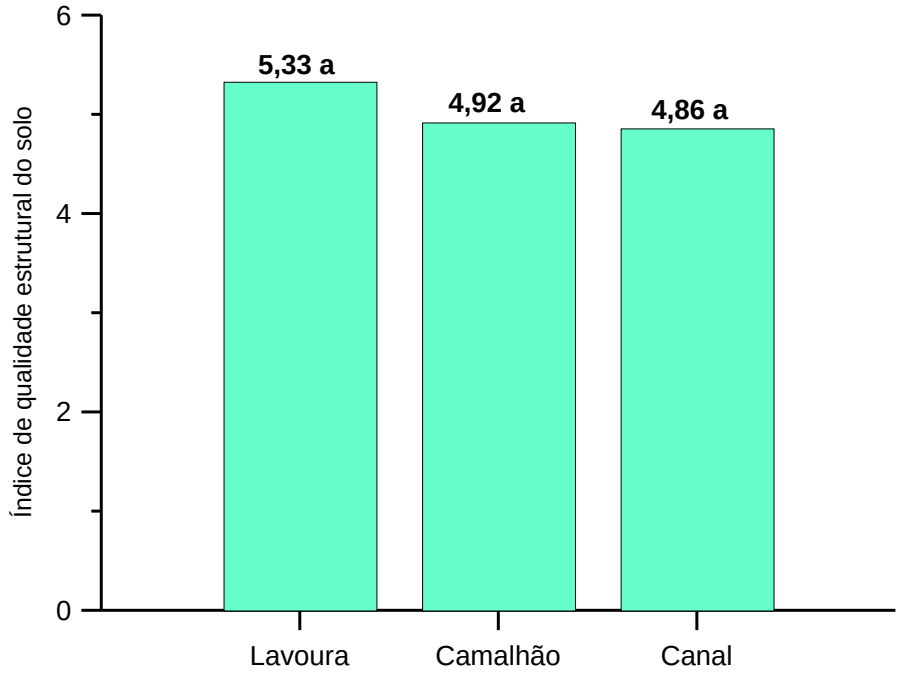
Ao final, com os dados obtidos no experimento, foi realizada a análise estatística no Software SAS (SAS Institute, 2025). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

Após os dados terem sido submetidos a análise estatística, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (CV = 8,41 % e Pr > F = 0,0563), sendo os valores obtidos no cálculo do IQEA classificados como estrutura boa e muito boa (Gráfico 1), demonstrando que a área é manejada seguindo os princípios do SPD e manutenção dos atributos físicos do solo.

Gráfico 1 – Índice da qualidade estrutural através do método do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo nos diferentes tratamentos.

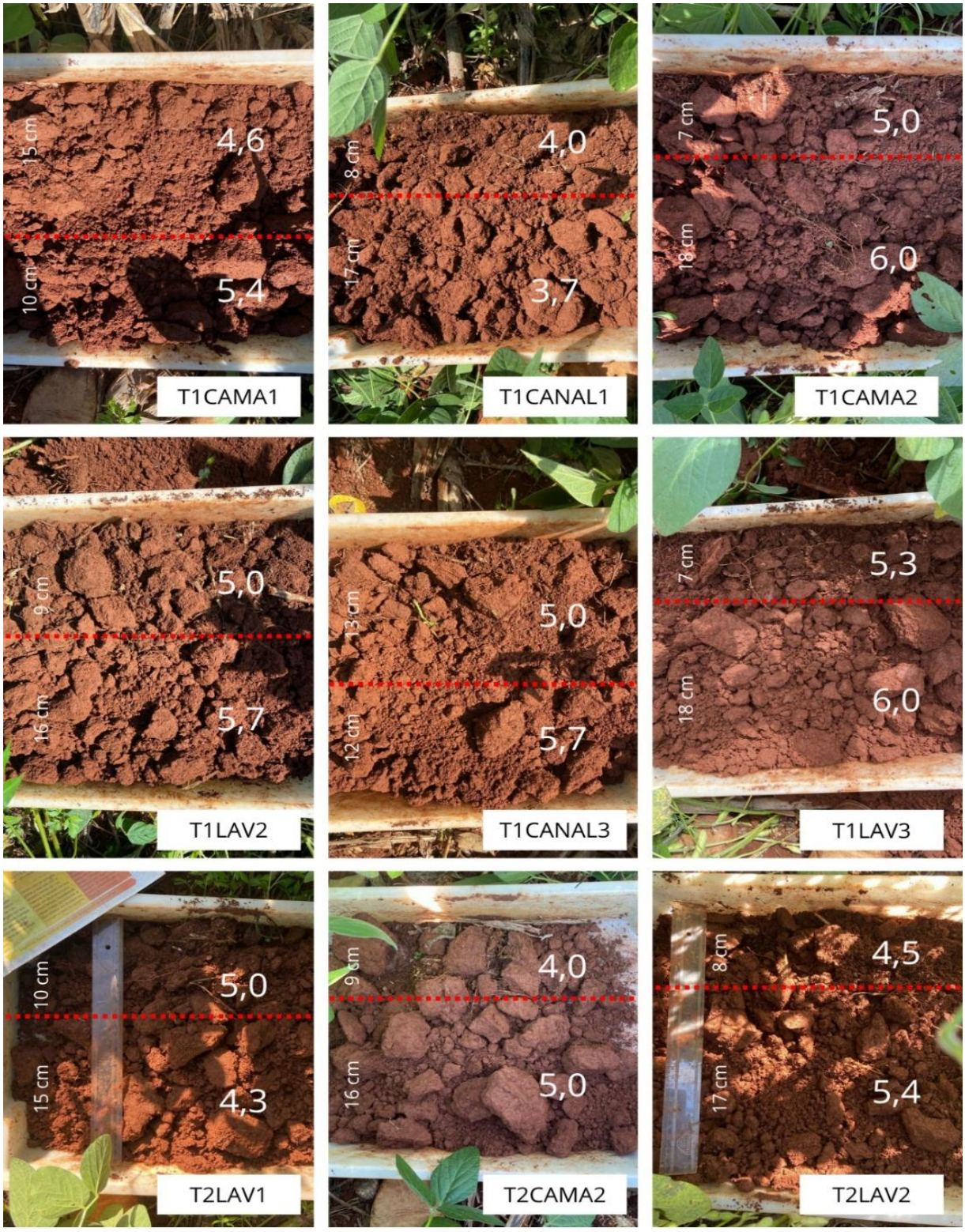


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

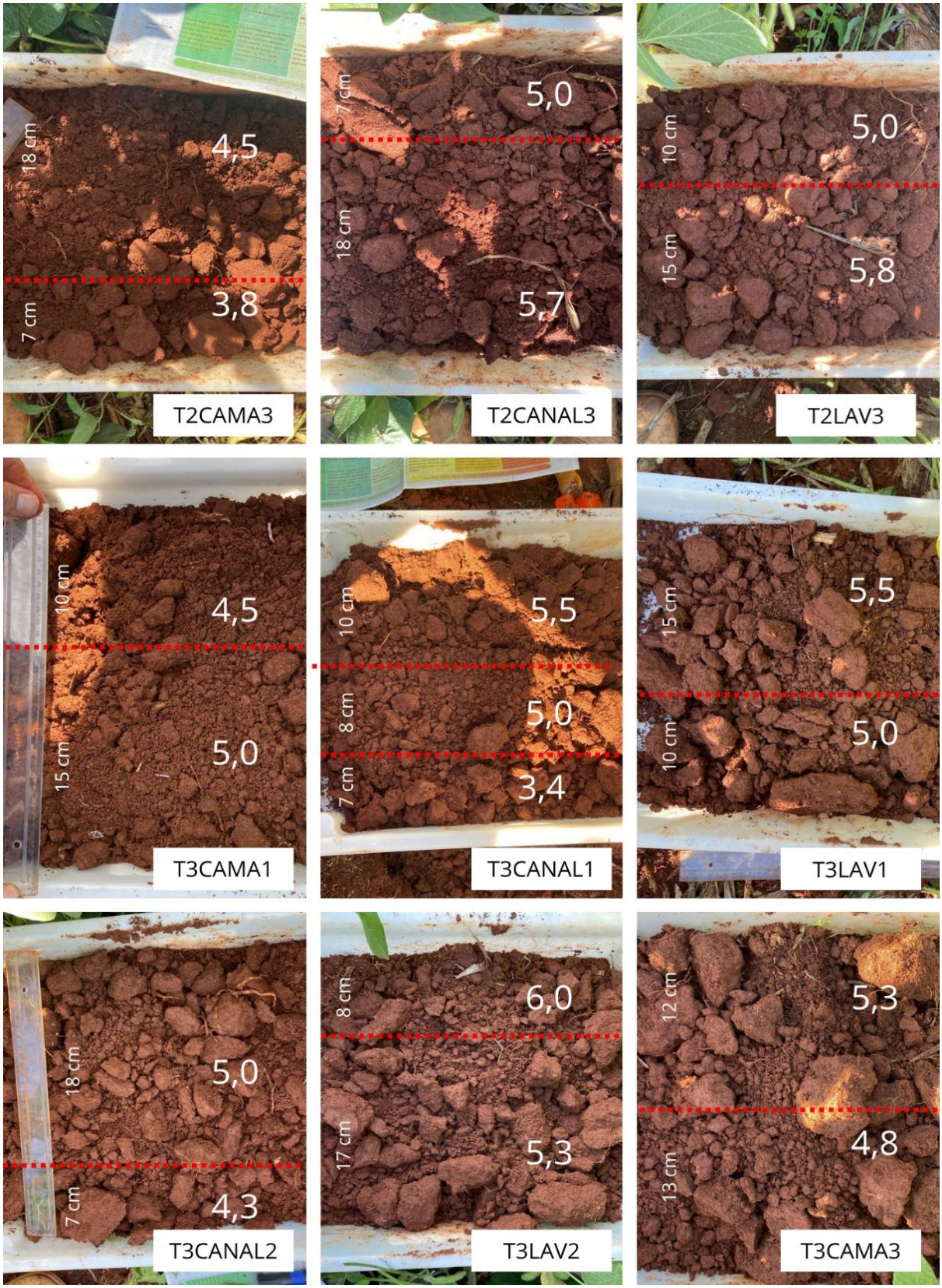
Os índices representam um solo bem estruturado, não podendo afirmar um impedimento no crescimento das raízes, com presença de até mais de 70% de agregados entre 1 a 4 cm, com atividade biológica visível, boa conformação de poros e grumosidade. Para melhorar a estrutura, Ralisch, *et al*. (2017), recomendam a diversificação de culturas com grande aporte de fitomassa aérea e radicular, como as gramíneas, e considerar a adoção de práticas conservacionistas.

Na Figura 5, é possível observar as atribuições das notas em alguns pontos em que as amostras foram coletadas e as diferentes camadas.

Figura 5 – Atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (QEc) em diferentes pontos de amostragem.



T1CAMA1 = terraço 1 e ponto 1 do camalhão, T1CANAL1 = terraço 1 e ponto 1 do canal, T1CAMA2 = terraço 1 e ponto 2 do camalhão, T1LAV2 = terraço 1 e ponto 2 da lavoura, T1CANAL3 = terraço 1 e ponto 3 do canal, T1LAV3 = terraço 1 e ponto 3 da lavoura, T2LAV1 = terraço 2 e ponto 1 da lavoura, T2CAMA2 = terraço 2 e ponto 2 do camalhão, T2LAV2 = terraço 2 e ponto 2 da lavoura.



T2CAMA3 = terraço 2 e ponto 3 do camalhão, T2CANAL3 = terraço 2 e ponto 3 do canal, T2LAV3 = terraço 2 e ponto 3 da lavoura, T3CAMA1 = terraço 3 e ponto 1 do camalhão, T3CANAL1 = terraço 3 e ponto 1 do canal, T3LAV1 = terraço 3 a ponto 1 da lavoura, T3CANAL2 = terraço 3 e ponto 2 do canal, T3LAV2 = terraço 3 e ponto 2 da lavoura, T3CAMA3 = terraço 3 e ponto 3 do camalhão.

Fonte: Autora (2025).

5.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Na Tabela 1 é possível observar que na camada 0-10 cm o pH do camalhão (CAMA) encontra-se em 5,5, ou seja, na faixa limítrofe para uma boa produtividade da soja sem impedimento por acidez, já o canal (CANAL) e a lavoura (LAV) encontram-se abaixo, indicando 0,1 cmolc/dm³ de Al. Na camada 10-20 cm ambos os tratamentos apresentam pH baixo, com Al variando de 0,6 a 0,7 cmol/dm³.

O pH em água ideal para uma boa assimilação de nutrientes e produção de soja, varia entre 5,5 e 6,0 (Sousa; Lobato, 1996), pois entre esses valores à pouca limitação da produtividade por acidez, aparecendo Al trocável apenas abaixo de 5,5 (Santos, *et al*., 2016). Deste modo, há necessidade de correção da acidez no canal e na lavoura da camada superficial e de toda camada subsuperficial que, indica uma maior restrição do crescimento das raízes em profundidade.

Em relação a capacidade de troca de cátions (CTC pH7), na camada 0-10 cm o camalhão apresenta classe média e o canal e a lavoura classe alta, enquanto a camada 10-20 cm apresenta classe média em ambos tratamentos.

Tabela 1 – Variáveis indicadores de acidez no solo e necessidade de calagem nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos.

Amostra	**Profundidade (cm)**	**pH água 1:1**	**H+Al**	**Al**	**CTC pH7**	**CTC efet.**	**Índice SMP**
			cmolc/dm³				
CAMA	0-10	5,5	4,4	0,0	14,0	9,6	6,0
CAMA	10-20	4,9	7,7	0,6	14,3	7,2	5,5
CANAL	0-10	5,2	5,5	0,1	16,0	10,6	5,8
CANAL	10-20	4,6	6,9	0,6	13,8	7,5	5,6
LAV	0-10	5,3	6,9	0,1	17,1	10,2	5,6
LAV	10-20	4,9	6,9	0,7	13,1	6,8	5,6

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Na camada 0-10 cm o camalhão apresenta uma boa saturação por bases (V%) de 68,7, já o canal e a lavoura apresentam baixa V%. Enquanto que toda camada de 10-20 cm encontra-se com V% muito abaixo do esperado (Tabela 2). A V% referência para solos do RS e SC entre um pH de 5,5 e 6,0 consiste em V = 65 % e V = 75 %, respectivamente (Santos, *et al*., 2016). Os valores encontrados confirmam a necessidade de correção da acidez anteriormente citada.

Os teores de MOS apresentam classe média na camada 0-10 cm e classe baixa na camada 10-20 cm, com necessidade de estímulo em profundidade.

Tabela 2 – Teores de MOS, argila e saturação de Al e bases nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos.

Amostra	Profundidade (cm)	% MO	% Argila	Textura	Saturação (%)	
		m/v			Al	Bases
CAMA	0-10	3,2	54,0	2	0,0	68,7
CAMA	10-20	2,1	83,0	1	7,9	46,2
CANAL	0-10	3,5	54,0	2	0,6	65,9
CANAL	10-20	2,2	79,0	1	7,9	49,9
LAV	0-10	3,7	57,0	2	0,6	59,5
LAV	10-20	2,0	79,0	1	10,0	47,0

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os teores de argila são classificados como classe 2 na camada 0-10 cm e classe 1 na camada 10-20 cm (Figura 2), com isso pôde-se avaliar a disponibilidade de P que, na camada 0-10 cm encontra-se com alta disponibilidade no camalhão e na lavoura e, muito alta no canal. Já na camada 10-20 cm encontra-se com média disponibilidade no camalhão e alta no canal e na lavoura (Figura 3)

A disponibilidade de K na camada 0-10 cm encontra-se alta no camalhão e na lavoura e muito alta no canal. Já na camada 10-20 cm encontra-se média no camalhão e na lavoura e, alta no canal. Já o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) apresentam alta disponibilidade em ambas as camadas e tratamentos.

Tabela 3 – Teores dos macronutrientes cálcio, magnésio, fósforo e potássio nas camadas 0-10 e 10-20 cm nos diferentes tratamentos.

Amostra	Profundidade (cm)	Ca	Mg	Relação Molar	P-Mehlich	K
		cmolc/dm³		Ca/Mg	mg/dm³	
CAMA	0-10	6,4	2,7	2,4	15,2	188
CAMA	10-20	4,6	1,8	2,5	8,4	68
CANAL	0-10	6,9	2,9	2,4	27,0	276
CANAL	10-20	4,6	1,9	2,4	11,4	156
LAV	0-10	6,8	2,9	2,3	19,1	184
LAV	10-20	4,3	1,7	2,5	9,6	80

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

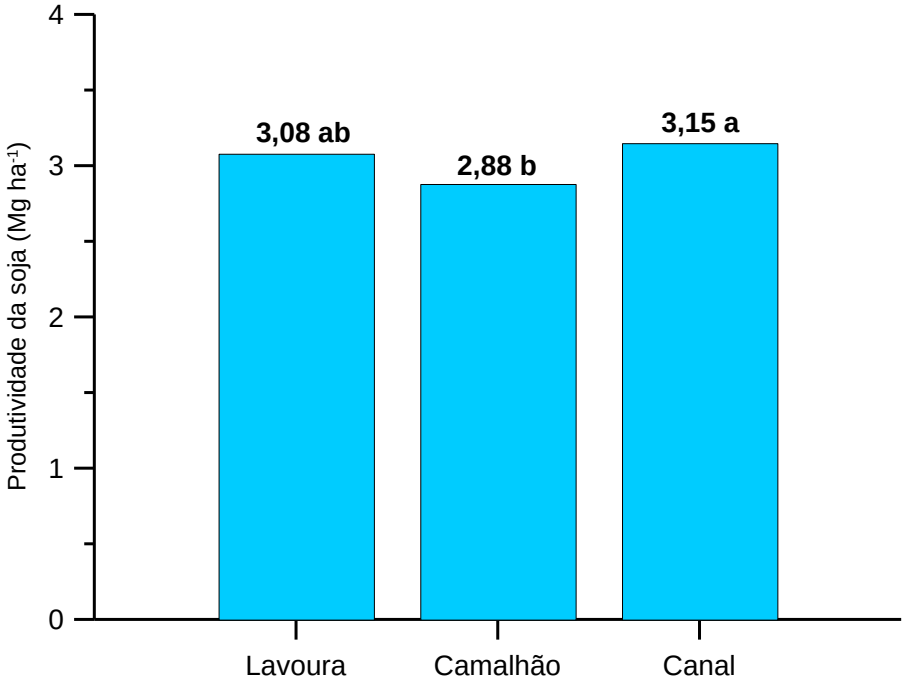
De modo geral, há necessidade de adubação de reposição na camada subsuperficial, ou seja, de P no camalhão e de K no camalhão e na lavoura. A disponibilidade de PK do canal teve um destaque maior, sendo classificada como muito alta na camada superficial e alta na camada subsuperficial que, pode ser explicada por ser a porção do terraço que mais acumula água e

sedimentos. Em períodos de chuva ocorre o transporte dos nutrientes juntamente com a água, se acumulando em uma maior proporção em relação aos outros tratamentos avaliados.

5.3 PRODUTIVIDADE DA SOJA

A produtividade da soja apresentou efeito significativo comparando os três tratamentos (CV = 9,27% e Pr > F = 0,0391), com uma ligeira diferença no camalhão do terraço e a maior produtividade observada no canal (Gráfico 2), relacionada com as condições químicas favoráveis que, pode ser explicada por um maior acúmulo de água e sedimentos nesta porção do terraço.

Gráfico 2 – Produtividade da soja (Mg/ha) nos diferentes tratamentos avaliados.



Fonte: Autora (2025).

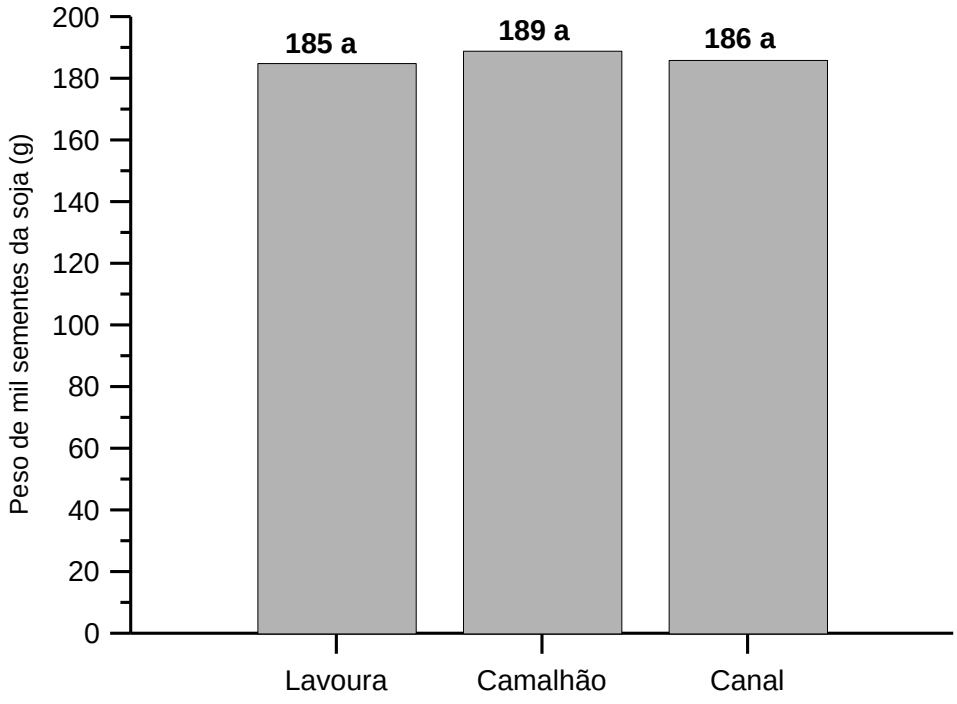
A produtividade de uma área destinada a sojicultura, pode ser influenciada por fatores genéticos ou ambientais. Entre eles, a adaptabilidade das sementes ao ambiente, resistência a pragas, doenças e herbicidas e/ou fatores climáticos e edáficos, como temperatura, luz e condições do solo (Santos, *et al*., 2017).

Entretanto, as práticas agrícolas conservacionistas também possuem papel importante na expansão da produtividade e sustentabilidade. Estas, quando utilizadas de forma integrada e racional favorece o aporte de matéria orgânica no solo, estoque e disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (Bassani, *et al*.,2023). Além de promover a maior resistência do solo contra as forças do processo erosivo e diminuir sua dependência de insumos externos (Fortini;

Braga; Freitas, 2020). O milho de verão como cultura antecessora pode ter contribuído na produtividade, funcionando semelhantemente como uma cultura de cobertura, especialmente pelo grande aporte de palha e raízes no solo.

Neste experimento, o PMS não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (CV = 3,88% e Pr > F = 0,2748). Os resultados indicam sementes vigorosas e, possivelmente, com altas reservas nutricionais (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Peso de mil sementes de soja (g) nos diferentes tratamentos avaliados.



Fonte: Autora (2025).

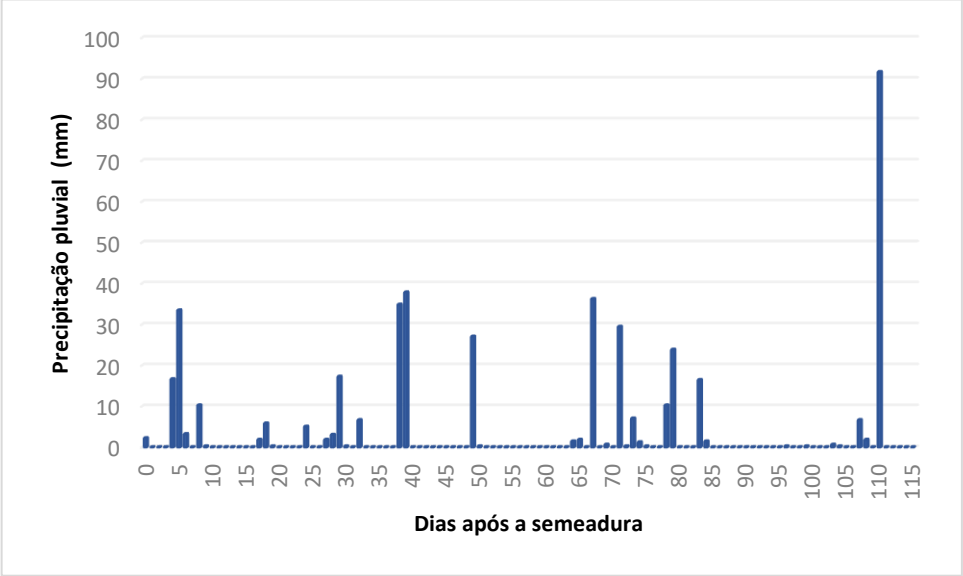
O peso de mil sementes (PMS), é um indicador físico importante na escolha de uma cultivar. Ele expressa o tamanho e peso médio de um lote de sementes, indicando ao produtor a quantidade necessária para semeadura. Além disso, quanto maior o PMS, maior tende a ser o vigor e a qualidade das sementes. Sementes vigorosas garantem a germinação e emergência das plântulas de forma mais rápida e uniforme, favorecendo o melhor desempenho das plantas e, consequentemente, alcançando uma alta produtividade (Neto, *et al*., 2016)

A soja apresentou um ciclo relativamente curto, de 115 dias, totalizando 438,2 mm de precipitação (Gráfico 4). Pode-se dizer que a cultura teve condições adequadas para emergência, somando 55,4 mm de precipitação a partir do dia da semeadura até o 7º dia após a semeadura (DAS), que, corresponde ao tempo médio para que ocorra a emergência satisfatória das plantas de soja.

Observou-se uma maior quantidade de precipitação durante o início da floração (35-40 DAS), no início do enchimento de grãos (60-75 DAS) e na maturidade final (105-115 DAS). O excesso de chuva na maturidade final, ou seja, antecedendo a colheita, pode reduzir a produtividade dos grãos e reduzir o valor comercial. Neste caso, aos 110 DAS houve uma precipitação excessiva (91,6 mm).

Além disso, a maior produtividade do canal pode estar relacionada com o déficit hídrico durante o período de enchimento de grãos (85-105 DAS), visando que há um maior acúmulo e maior disponibilidade de água para as plantas nesta porção do terraço, suportando por um período maior as condições adversas.

Gráfico 4 – Precipitação pluvial (mm) da área do experimento durante o ciclo da cultura, em dias após a semeadura.

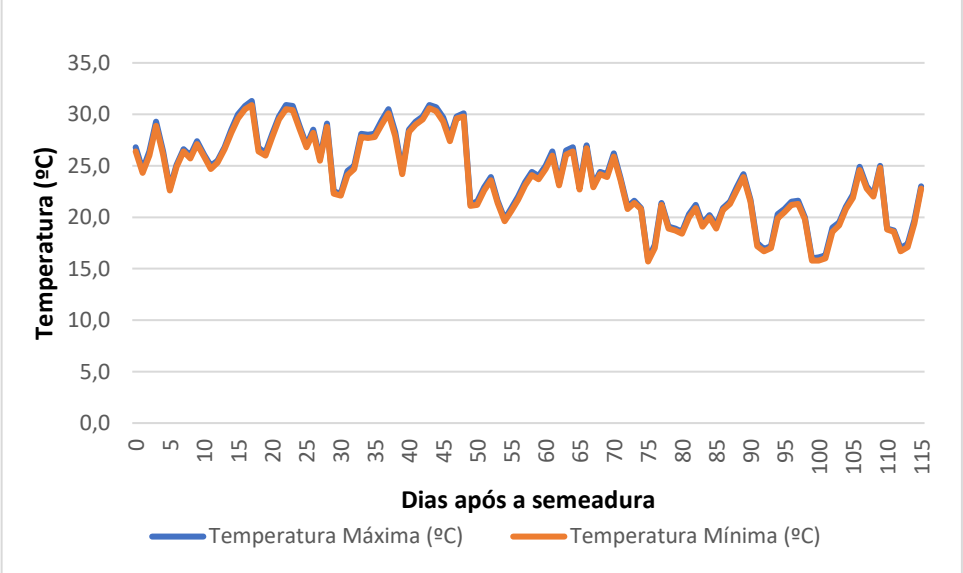


Fonte: Autora (2025).

O consumo ideal de água durante o ciclo da soja, para expressar o seu máximo rendimento, pode variar de 450 a 800 mm (Farias; Neumaier; Nepomuceno, 2021). Essa variação é influenciada diretamente pelo clima da região, ciclo da cultivar e manejo utilizado.

Em relação a temperatura, manteve-se mais elevada durante o início do desenvolvimento da cultura, dando uma pequena amenizada a partir dos 49 DAS (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Temperatura máxima e temperatura mínima (ºC) da área do experimento, em dias após a semeadura.



Fonte: Autora (2025).

Por se tratar de uma cultura de verão, a soja suporta temperaturas mais elevadas, sendo colhida na estação mais quente do ano. Possui adaptabilidade ideal em regiões onde às temperaturas se mantém entre 20 e 30 ºC (Farias; Neumaier; Nepomuceno, 2021). Vale ressaltar que a soja safrinha enfrenta alguns desafios maiores em relação a temperatura, considerando que o início da fase vegetativa ocorre no pico da época mais quente do ano na região sul do Brasil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os parâmetros avaliados no desenvolvimento deste experimento obteve-se resultados desejáveis, indicando que o sistema de terraceamento foi eficiente na contenção da enxurrada, já que os teores de nutrientes foram maiores no canal do terraço, além de apresentar maior produtividade. O canal é a porção do terraço que contém a água da chuva, evitando o escoamento superficial, entretanto, há um maior acúmulo de água durante um período de tempo maior do que as outras porções avaliadas.

A produtividade da soja também está relacionada com a cultura antecessora. O milho é caracterizado por uma grande produção de palhada, promovendo a reciclagem de nutrientes ao solo, além de protege-lo da erosão hídrica e perdas por lixiviação de nutrientes. A rotação de culturas mantém o ambiente químico mais favorável para a cultura da soja, aumenta o teor de MOS, contribui para o acúmulo de carbono, aumenta a CTC e estimula a atividade dos microrganismos.

Além disso, a rotação de culturas com diferentes sistemas radiculares, especialmente culturas que apresentam sistema radicular mais agressivo, promovem a descompactação em profundidade, desenvolvendo poros que facilitam o crescimento radicular e a infiltração de água. Resultando em uma estrutura desejável, maior estabilidade dos agregados e maior porosidade, prevenindo o solo da erosão hídrica.

Entretanto, a área avaliada possui um bom manejo do SPD e a prática conservacionista do terraceamento, apesar da necessidade de manutenção dos terraços e de alguns impedimentos químicos, como a necessidade de calagem e adubação, os resultados mostram que o sistema não implica na estrutura do solo, nos atributos químicos e na produtividade, resultando até mesmo em uma compensação pelo uso desta prática. Apesar de ser trabalhosa, traz benefícios em relação a conservação do solo e da água, sendo uma prática essencial na região de solos predominantemente argilosos que são naturalmente ácidos e enfrentam problemas como compactação e erosão hídrica.

REFERÊNCIAS

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Produção agropecuária e estrutura fundiária. 2017. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/caracteristicas-gerais. Acesso em: 05 de mai. 2025.

BARBOSA, F. T. *et al*. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:1279-1290.

BASSANI, M. H. *et al*. **O terraceamento passo a passo**. Florianópolis: Epagri, 2023, 32 p. (Epagri. Boletim Didático, 170).

BERTOL, I; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:417-425, 2000.

BERTOL, O. J. *et al*. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **R. Bras. Ci**. Solo, 31:781-792, 2007.

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. **Embrapa Solos**, Comunicado técnico, 51, Rio de Janeiro, RJ, dezembro, 2008. ISSN 1517-5685.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Ajustes na área de milho e soja resultam em uma produção de 295,45 milhões de toneladas na safra 2023/2024. Mai. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/ajustes-na-area-de-milho-e-soja-resultam-em-uma-producao-de-295-45-milhoes-de-toneladas-na-safra-2023-2024-1. Acesso em: 18 abr. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Produção de grãos é estimada em 330,3 milhões de toneladas na safra 2024/25. Abr. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-e-estimada-em-330-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2024-25. Acesso em: 18 abr. 2025.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. **Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13·24, jan./fev. 2001.

DEBIASI, H. *et al*. Alternativas para diversificação de sistemas de produção envolvendo a soja no norte do Paraná. Londrina: **Embrapa Soja**, 2017. 55 p. ISSN 2176-2937.

DENARDIN, J. E. Alternativas para aumento da produtividade da lavoura de grãos no Rio Grande do sul. In: **Alternativas para ampliação da produtividade e da qualidade da produção agropecuária do Rio Grande do Sul: leite e grãos**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2018, p. 65-92.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A; LEMAINSKI, J. Converter plantio direto em sistema plantio direto – um modelo à sustentabilidade agrícola. In: **REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE**, 12., 2018, Passo Fundo. Ata e Resumos. Passo Fundo: Projeto Passo Fundo, 2019. Solos e Nutrição Vegetal, p. 568-572.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, nov. 2001. ISSN 1516-5582.

DRESCHER, M. S.; KAISER, D. R.; LIMA, C. L. R. de; BRAIDA, J. A. VI – Compactação do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Palloti, 2023, 344 p.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Tipo de crescimento. In: Agência de Informação **Embrapa – Soja**. Brasília, DF, Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/estadios-de-desenvolvimento/tipo-de-crescimento. Acesso em: 04 de mai. 2025.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO SISTEMA PLANTIO DIRETO – FEBRAPDP. Evolução área sob plantio direto no Brasil. Disponível em: https://plantiodireto.org.br/area-de-pd. Acesso em: 05 mai. 2025.

FEDERAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍTICA (FEE). Características da agropecuária do RS, 2015. Disponível em: https://arquivofee.rs.gov.br/sinteseilustrada/caracteristicas-da-agropecuaria-do-rs/. Acesso em: 05 mai. 2025.

FEDERAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). Corede Missões. 2023. Disponível em: https://arquivofee.rs.gov.br/perfil-socioeconomico/coredes/detalhe/?corede=Miss%F5es. Acesso em: 05 de mai. 2025.

FERREIRA, A. de O.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. W. O sistema plantio direto em fase de manutenção recupera o estoque de carbono original do solo? Um panorama das áreas pioneiras sob plantio direto no Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto** - Edição conjunta 147-148. jun. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301298775. Acesso em: 21 abr. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS – FAO. Global soil partnership endorses guidelines on sustainable soil management. 2016. Disponível em: Global Soil Partnership endorses guidelines on sustainable soil management | Global Soil Partnership | Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em: 20 abr. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS – FAO. Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo. 2022. Disponível em: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo | FAO no Brasil | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Acesso em: 20 abr. 2025.

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. **Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros**. Revista de Economia e Sociologia Rural, 58(2), e199479, 2020.

GAZZONI, D. L.; DALL´AGNOL, A. A saga da soja: De 1050 a.C. a 2050 d.C. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. 199 p. ISBN 978-85-7035-807-3.

GRIEBLER, N. P.; PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILA, D. D. da. **Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.3, p.696-704, set./dez. 2005.

HERNANI, L. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. de F.; PERES, J. R. R. (ed.) **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Cap. 5, 174 p. ISBN 85-85864-10-9.

HERNANI, L. C. *et al*. Uma resposta conservacionista: o impacto do sistema plantio direto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 14, p. 151-161.

HERNANI, L. C.; FABRICIO, A. C. Perdas de solo e água por erosão: dez anos de pesquisa. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 1999. 12 p. ISSN 1676-4412.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LEMOS, R. C. de. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife: **Divisão de Pesquisa Pedológica**, 431 p. 1973.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3ª ed. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, 84 p. 1996.

LIMA, C. L. R. de; KAISER, D. R. III - Estrutura e agregação do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. G. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, SBCS: Núcleo Regional Sul, 2023. 344 p. ISBN 978-65-89469-70-4.

LIMA, C. L. R. de; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. de. Qualidade física do solo: indicadores quantitativos. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, Documentos, 196, 25 p. out. 2007. ISSN 1516-8840.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimentos de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. Dissertação de mestrado, UFSM, Santa Maria, 2015.

MACHADO, P. L. O. de A.; WADT, P. G. S. Terraceamento. **Embrapa**, set. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/terraceamento. Acesso em: 23 abr. 2025.

MANDARINO, J. M. G.; RUFINO, C. F. G. Soja, saúde e alimentação: perguntas e respostas mais frequentes. Londrina: **Embrapa Soja**, Documentos, 2003. 18p. ISSN 1516-781X.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA – MAPA. Painel de indicações de riscos. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2024/mapa-publica-zoneamento-agricola-da-soja-safra-24-25-adaptado-ao-calendario-de-semeadura-e-vazio-sanitario-da-defesa-agropecuaria. Acesso em: 23 abr. 2025.

MELO, R. F. de; GIONGO, V.; DEON, D. S.; ANJOS, J. B. Uso e manejo do solo. In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI, T. V. (Ed). **Agricultura familiar dependente de chuva do Semiárido**. Brasília, DF, Embrapa, 2019.

MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, mai-jun, 2004. ISSN 0103-8478.

MICHELON, C. J. *et al*. IV – Densidade e porosidade do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. G. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, SBCS: Núcleo Regional Sul, 2023. 344 p. ISBN 978-65-89469-70-4.

NETO, J. de B. F. *et al*. Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade. **Embrapa Soja**, Documentos, 380, Londrina, PR, dezembro, 2016. ISSN 2176-2937.

OLIVEIRA, A. B. de *et al*. Soja: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019. 274 p. ISBN 978-85-7035-877-6.

OLIVEIRA, F. A. *et al*. Fertilidade do solo e nutrição da soja. **Embrapa Soja**, Circular Técnica, 50, Londrina, PR, setembro, 2007. ISSN 1516-7860.

PARAHYBA, R. da B. V., *et al*. **Condutividade hidráulica dos solos arenosos da região semiárida da Bacia sedimentar do Tucano no município de Glória, Bahia, Brasil**. III Reunião Nordestina de Ciência do Solo, Aracaju, SE, 2016.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Sistema plantio direto. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 3, p. 61-104.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. **Comparação de métodos de medida da densidade do solo**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

PRUSKI, F. F**. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. revista e atualizada. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 561 p.

RALISCH, R. *et al*. Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES. Londrina: **Embrapa Soja**, Documentos, 390, 2017, 64 p. ISSN 2176-2937.

RALISCH, R. *et al*. Diagnóstico da estrutura do solo (DRES). In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 1, cap. 19, p. 184-197.

RICHART, A. *et al*. **Compactação do solo: causas e efeitos**. Semina: Ciências Agrárias, vol. 26, núm. 3, julio-septiembre, 2005, pp. 321-343. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Brasil.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial**, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 35, 2ª ed. Campinas, SP, 2020. ISSN 1806-3322.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Comunicado Técnico, Dourados, MS, dez. 2014. ISSN 1679-0472.

SÁ, M. A. C. de; JUNIOR, J. de D. G. dos S. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, Documentos, 136, 26 p. abr. 2005. ISSN 1517-5111.

SANTOS, A. C. *et al*. **Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja**. XI EEPA – XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Universidade Estadual do Paraná, 2017.

SANTOS, D. R. dos *et al*. Diagnóstico da acidez e recomendação da calagem. In: **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** - Núcleo Regional Sul. – [s. l.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

SAS INSTITUTE. SAS Viya: The High-Performance Al & Analytics Platform. Disponível em: https://www.sas.com/en_us/software/viya.html?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 11 dez. 2025.

SILVA, V. R. da S. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Teste de doutorado: UFSM, Santa Maria, 2003, 151 p.

SOBRAL, L. F. *et al*. Guia prático para interpretação de resultados de análise de solo. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Documentos, 206, Aracaju, SE, dezembro, 2015. ISSN 1678-1953.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção do solo e adubação da cultura da soja. **Embrapa**, Circular Técnica, 33, Planaltina, DF, agosto, 1996.

SOUZA, L. da S.*et al*. XIII – Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C. de; SOUZA, L. da S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: SBCS, 1355 p. 2019. ISBN 978-85-86504-25-9.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

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

VENTIMIGLIA, L. A. *et al*. **Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.34, n.2, p.195-199, fev. 1999.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 f.

VERNETTI, F. de J.; GASTAL, M. F. da C. Descrição botânica da soja. **Embrapa**, Circular Técnica, Nº 7, Pelotas, RS, set. 1979.