

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PEDRO ZIMMERMANN

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NÍVEIS DE PALHA DE AZEVÉM NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO COM INTEGRAÇÃO
LAVOURA PECUÁRIA**

ITAQUI

2023

PEDRO ZIMMERMANN

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NÍVEIS DE PALHA DE AZEVÉM NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO COM INTEGRAÇÃO
LAVOURA PECUÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Amauri Nelson Beutler

**ITAQUI
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

75n ZIMMERMANN, PEDRO

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NÍVEIS DE PALHA DE AZEVÉM NA PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO COM INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA/ PEDRO ZIMMERMANN.

29 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2023.

"Orientação: Amauri Nelson Beutler".

1. *Glycine max*; Sistema de Plantio Direto (SPD); Palha do solo; Produtividade de grãos. I. Título

PEDRO ZIMMERMANN

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NÍVEIS DE PALHA DE AZEVÉM NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO COM INTEGRAÇÃO
LAVOURA PECUÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 11 de Julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. (Amauri Nelson Beutler)

Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto

(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Guilherme Ribeiro

(UNIPAMPA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me dar força para enfrentar essa jornada e aos meus pais por me proporcionarem essa oportunidade de realizar meu sonho em me tornar Engenheiro Agrônomo.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças e me guiar durante essa caminhada. Seguido do apoio unilateralmente da minha família principalmente meus pais Joel Francisco Zimmermann e minha mãe Maria Lisiane Messa do Amaral.

Ao Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler por me acompanhar e me orientar durante todo o período de graduação e pelos ensinamentos recebidos, aos meus colegas de laboratório que foram cruciais na realização dos testes e amostras assim como a todos os colegas e amigos feitos durante o período de graduação.

A minha banca examinadora do trabalho, composta pelo Prof. Dr. Cleber Maus Alberto e Prof. Dr. Guilherme Ribeiro, sendo cruciais para o enriquecimento do trabalho com contribuições muito pertinentes.

E aos demais que contribuíram de forma direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

EPÍGRAFE

“As grandes ideias surgem da observação dos
pequenos detalhes”.

Augusto Cury

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NÍVEIS DE PALHA DE AZEVÉM NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO COM INTEGRAÇÃO
LAVOURA PECUÁRIA**

RESUMO

O Brasil vem se destacando na produção de soja, onde atualmente é o maior exportador e o maior produtor do grão, sendo que grande parte desses resultados se deve ao cultivo da cultura em sistema conservacionista denominado Sistema Plantio Direto (SPD). O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física do solo e o efeito das quantidades de palha em superfície do solo na produtividade de grãos da soja em sistema de plantio direto. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e oito repetições, em parcelas de 2,5 x 2 m. Os tratamentos consistiram em: 1) Cultivo de azevém (*Lolium multiflorum*) com remoção da palha superficial do solo; 2) Cultivo de azevém sem remoção da palha superficial; 3) Cultivo de azevém com adição da palha removida do tratamento um, correspondendo a duas vezes a quantidade de palha de azevém. No ano de 2020, realizou-se a dessecação com herbicida em maio e semeou-se 40 kg ha⁻¹ de azevém com um espalhador a lanço, sem incorporação, e não houve pastoreio. Em junho, foram aplicadas 4,5 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 70% na superfície do solo. No dia 27/09/2020, foi realizada a aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas. Em 08/12/2020, as sementes de soja, cultivar BMX raio IPRO, de ciclo precoce, foram tratadas, inoculadas e semeadas em todos os tratamentos, utilizando uma semeadora adubadora de plantio direto, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 18 sementes por metro. A adubação foi realizada conforme a recomendação (CQFS-RS/SC, 2016). Na colheita, foram avaliados o peso de 100 grãos, assim como a produtividade de grãos em uma área de 1,5 m², com a umidade ajustada para 13%. O solo do local demonstrou compactação superficial, sendo assim aliado as precipitações irregulares foram fatores que contribuíram para a não obtenção de uma produtividade ainda mais elevada, sendo a palha imprescindível para o acréscimo de produtividade, sendo assim a distribuição irregular de precipitações aliado a compactação superficial do solo foram fatores que determinaram a produtividade da cultivar, no entanto nos tratamentos onde havia palha em superfície obteve-se um aumento de 21% de produtividade quando comparado ao tratamento onde foi retirada a palha superficial.

Palavras-Chave: *Glycine max*; Sistema de Plantio Direto (SPD); Palha do solo; Produtividade de grãos.

SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND RYEGRASS STRAW LEVELS IN NO-TILLAGE SOYBEAN PRODUCTIVITY WITH LIVESTOCK CROP INTEGRATION

ABSTRACT

Brazil has been standing out in soybean production, currently being the largest exporter and producer of the grain. A significant part of these results is attributed to the cultivation of the crop in a conservationist system called No-Till Farming (NTF). The objective of this study was to evaluate the effect of straw quantities on the soil surface on soybean grain yield in a no-till system. The experimental design adopted was completely randomized, with three treatments and eight replications, in plots measuring 2.5 x 2 m. The treatments consisted of: 1) Cultivation of ryegrass *Lolium multiflorum* with removal of the surface straw; 2) Cultivation of ryegrass without removal of the surface straw; 3) Cultivation of ryegrass with the addition of the straw removed from treatment one, corresponding to twice the quantity of ryegrass straw. In 2020, desiccation was carried out with herbicide in May, and 40 kg ha⁻¹ of ryegrass was sown using a broadcast spreader without incorporation, with no grazing. In June, 4.5 t ha⁻¹ of limestone with 70% PRNT (Effective Neutralizing Power) was applied on the soil surface. On September 27, 2020, herbicide was applied to control weeds. On December 8, 2020, soybean seeds, BMX raio IPRO variety, with early maturity, were treated, inoculated, and sown in all treatments using a no-till seed drill, with a spacing of 0.50 m between rows and 18 seeds per meter. Fertilization was carried out according to the recommendation (CQFS-RS/SC, 2016). At harvest, the weight of 100 seeds and grain yield were evaluated in an area of 1.5 m², with moisture adjusted to 13%. The soil of the site showed surface compaction, so allied the irregular rainfall were factors that contributed to the non-achievement of an even higher productivity, being the straw essential for the increase of productivity, so the irregular distribution of precipitation allied to the superficial compaction of the soil were factors that determined the productivity of the cultivar, however, in the treatments where there was straw on the surface, an increase of 21% was obtained of productivity when compared to the treatment where the superficial straw was removed.

Keywords: *Glycine max*; No-Till Farming (NTF); Soil straw; Grain yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométrica nos meses de dezembro de 2020 a março de 2021.....	16
Figura 2. Densidade do solo na camada de 0 até 25 cm	17
Figura 3. Porosidade total do solo na camada de 0 até 25 cm.....	18
Figura 4. Macroporosidade do solo na camada de 0 até 25 cm.....	19
Figura 5. Microporosidade do solo na camada de 0 até 25 cm	20
Figura 6. Densidade relativa do solo na camada de 0 até 25 cm.....	21
Figura 7. Produtividade de grãos da soja por tratamento	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4. CONCLUSÃO	23
5. REFERÊNCIAS.....	24
6. ANEXOS	28

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) é atualmente o grão produzido em maior quantidade nas lavouras brasileiras (CONAB., 2021). O Brasil cultivou 40.921,9 milhões de hectares na safra 2021/22, com produtividade média de 3.026 kg ha⁻¹, totalizando aproximadamente 123.829,5 milhões de toneladas do grão. Segundo os dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022) o Estado do Rio Grande do Sul nesta mesma safra obteve produção superior a nove milhões de toneladas apresentando sua relevância a nível nacional.

O Sistema de Plantio Direto (SPD), tem se mostrado a forma de cultivo a qual vem sendo utilizada em maior proporção, aumentando anualmente em detrimento do sistema de preparo convencional do solo (FEBRAPDP., 2018). Isso se deve ao fato de que o preparo convencional degrada o solo, impacta negativamente o ambiente e requer custos operacionais elevados, já que os efeitos benéficos da descompactação do solo são de curta duração nesse sistema (SILVA et al., 2012).

Para garantir a sustentabilidade do SPD e maximizar a produtividade da soja, é essencial a utilização de plantas de cobertura do solo. Essas plantas devem apresentar algumas características desejáveis tanto na produção de massa seca quanto de sistema radicular, visando à manutenção da cobertura do solo, a quebra do ciclo de pragas e doenças e na redução da infestação por plantas daninhas. Dessa forma, esse sistema possui grande importância para aumento da produtividade das culturas sucessoras, redução nos custos de produção e preservação ambiental (DEUSCHLE et al., 2015).

Nesse sentido, o azevém (*Lolium multiflorum*) surge como uma alternativa promissora para o período de inverno, trazendo diversos efeitos benéficos na safra subsequente da soja. O azevém é uma gramínea utilizada no sistema de produção nas áreas do sul do país, apresentando alto potencial de produção de forragem, com alto valor nutricional, se tornando uma alternativa importante de uso durante o inverno (BARTH NETO., 2013).

O azevém forma touceiras com altura variando de 0,40 m até 1,00 m, tratando-se de uma planta rústica e agressiva, com alta capacidade de perfilhamento (PUPO., 2002). Se destaca como alternativa viável para os produtores, pois mesmo com seu crescimento mais lento, permite utilização por períodos mais prolongados em comparação com a cultura da aveia. Além disso, o azevém consagrou-se como grande opção pela sua facilidade de ressemeadura natural, resistência a doenças, bom potencial de produção de sementes e versatilidade de uso em associações (NABINGER et al., 1999).

A literatura enfatiza a importância da sucessão de culturas com espécies de cobertura para os sistemas de manejo da soja, uma vez que isso contribui para o desenvolvimento e o aumento da produtividade dessa cultura (FONTANELI et al., 2000; PEREIRA et al., 2011; SANTOS et al., 2013; COSTA et al., 2015). Tiecher (2016) ressalta que o uso de plantas de cobertura com adequada produção de palha protege a superfície do solo do impacto das gotas de chuva e da ação direta dos raios solares e do vento, diminuindo a erosão, a amplitude térmica e a taxa de evaporação, bem como incrementando para a infiltração e o armazenamento de água no solo.

No sistema ILP, é comum ocorrer um manejo inadequado, com pastejo intensivo do azevém durante o inverno devido ao seu elevado valor nutricional para os animais, seguido pela semeadura da soja em SPD. Nessas condições, a quantidade de palha de azevém remanescente na superfície do solo é reduzida, resultando em aumento da compactação do solo devido ao pisoteio animal excessivo e ao tráfego de máquinas sobre a superfície parcialmente descoberta, o que pode levar a perdas na qualidade física, química e biológica do solo, conseqüentemente, reduzindo a produtividade da soja, especialmente em anos com precipitações hídricas irregulares, que são recorrentes.

A qualidade física do solo é imprescindível para a produtividade da cultura da soja, sendo a compactação do solo um fator de redução do sistema radicular da cultura, sendo assim, a existência de restos culturais na superfície do solo, parte da energia aplicada sobre o solo, pelo tráfego de máquinas ou animais, é dissipada, pois aumenta a área de contato com o solo e dissipa parte da pressão aplicada, diminuindo a compactação (ROSIM et al., 2012).

Nesse contexto, para que o sistema de plantio direto se mantenha sustentável, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, é indispensável que a palhada seja mantida sobre a superfície do solo de forma permanente (SORATO et al., 2012). A manutenção de uma camada espessa de palha de azevém proveniente de ressemeadura natural não apenas reduz a compactação do solo e aumenta a utilização dos recursos ambientais, como também atua como barreira física contra a emergência de plantas daninhas, reduzindo infestações indesejáveis e diminuindo a necessidade de aplicação de herbicidas (ALVARENGA et al., 2001; SCHUSTER et al., 2016).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física do solo e o efeito das quantidades de palha em superfície do solo na produtividade de grãos da soja em sistema de plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra 2020/21 em um Latossolo Vermelho com textura muito argilosa, localizado nas coordenadas geográficas 27° 54' 30" S e 55° 03' 35" W. A área apresenta uma composição granulométrica de 660 g kg⁻¹ de argila, 230 g kg⁻¹ de silte e 110 g kg⁻¹ de areia, sendo determinado no laboratório de solos da UNIPAMPA. A declividade do terreno é de 2,0%, e a altitude é de 131 m. Com base na classificação de Köppen, o clima é do tipo cfa subtropical úmido, sem estação seca definida, caracterizado por verões quentes (WREGE et al., 2012).

Antes da instalação do experimento, realizou-se a análise química do solo na camada de 0 a 20 cm, obtendo-se os seguintes resultados: pH H₂O = 5,4; P = 4,1 mg dm⁻³; K = 0,327 cmolc dm⁻³; Ca = 6,1 cmolc dm⁻³; Mg = 2,7 cmolc dm⁻³; Al = 0,1 cmolc dm⁻³; saturação por bases (V) = 59,5%; matéria orgânica (MO) = 2,7%. A determinação da MO foi feita pelo método de Walkley-Black, o P foi avaliado pelo método Mehlich⁻¹, o pH em água pela solução solo: água 1:1, e o K, Ca, Mg e Al foram determinados conforme descrito em Tedesco et al. (1995).

A área do experimento é cultivada com soja há 45 anos, sendo que nos últimos 20 anos adotou-se o sistema de plantio direto, com cultivo de aveia, azevém e nabo forrageiro como coberturas de inverno e pastoreio intensivo nessa época do ano, seguido pelo cultivo de soja durante o verão, sem rotação de culturas. No ano de 2020, realizou-se a dessecação com herbicida em maio e semeou-se 40 kg ha⁻¹ de azevém com um espalhador a lanço, sem incorporação, e não houve pastoreio. Em junho, foram aplicadas 4,5 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 70% na superfície do solo.

No dia 27/09/2020, realizou-se a aplicação de herbicida para dessecar o azevém. Em 08/12/2020, as sementes de soja, cultivar BMX raio IPRO, de ciclo precoce, foram tratadas, inoculadas e semeadas em todos os tratamentos, utilizando uma semeadora adubadora de plantio direto, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 18 sementes por metro. O atraso na semeadura da soja ocorreu devido a falta de precipitação pluviométrica nos meses de outubro e novembro de 2020. A adubação foi realizada conforme a recomendação (CQFS-RS/SC, 2016). Os dados pluviométricos foram coletados através de pluviômetro em forma de cunha, constantemente monitorado para os registros de precipitação, sendo instalado e localizado a 10 metros do experimento.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e oito repetições, em parcelas de 2,5 x 2 m. Os tratamentos consistiram em: 1)

Cultivo de azevém com remoção da palha superficial do solo; 2) Cultivo de azevém sem remoção da palha superficial; 3) Cultivo de azevém com adição da palha removida do tratamento 1, correspondendo a duas vezes a quantidade de palha de azevém. A quantidade média de palha na superfície do solo na data de emergência das plântulas de soja foi de 3.122 kg ha^{-1} , que coincidiu com a data de estabelecimento dos tratamentos (15/12/2020).

No dia 06/01/2021, aplicou-se o herbicida glifosato e Poquer para controle de plantas daninhas e no dia 08/02/2020, o inseticida Engeo e o fungicida Orkestra.

Em março de 2021, foram coletados cilindros de solo com 0,030 m de altura e 0,048 m de diâmetro, nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m e 0,20-0,25 m, na entrelinha da cultura de soja. Os cilindros foram colocados em bandejas com uma lâmina de água de 0,02 m durante 24 horas para saturação por capilaridade, pesados e submetidos a uma tensão de 0,006 MPa em câmaras de pressão de Richards para determinação da microporosidade (FLINT & FLINT, 2002). Após 24 horas a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ em estufa, foram determinadas a massa seca e a densidade do solo (D_s). A porosidade total foi determinada conforme Flint & Flint (2002), e a macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

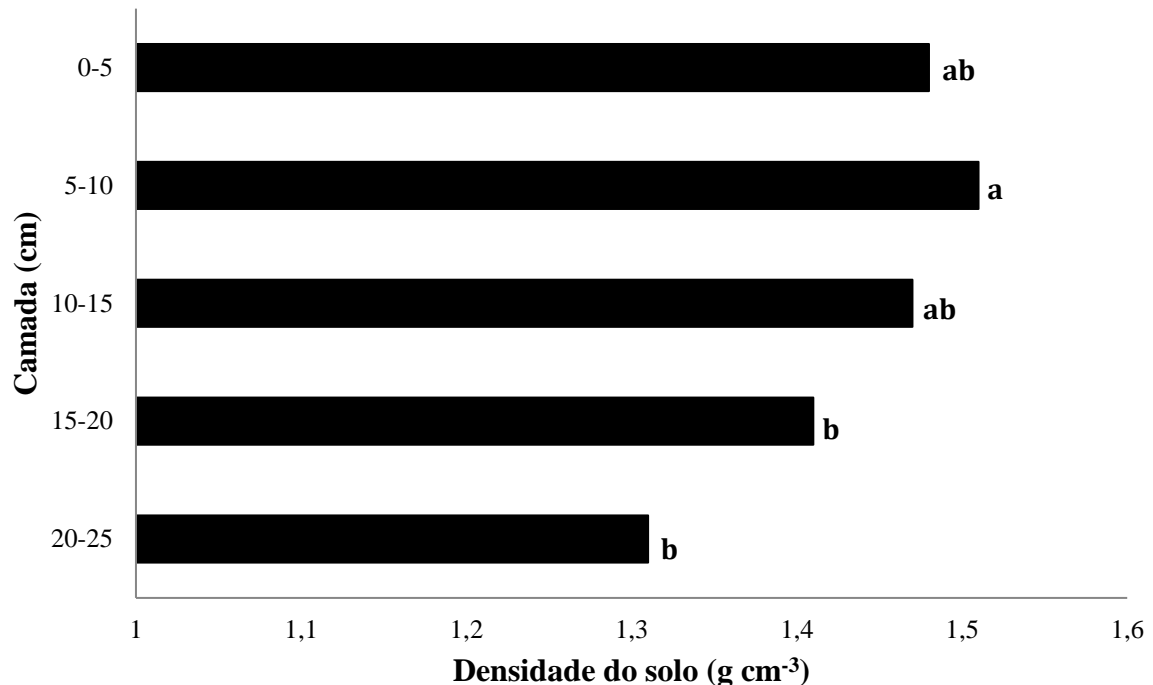
A densidade do solo máxima (D_s máxima) foi determinada por meio do teste proctor normal, utilizando-se amostras deformadas coletadas na camada de 0,0-0,20 m e passadas por uma peneira de abertura de malha de 0,04 m, para determinação da densidade do solo máxima, o qual obteve valor de $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, e a umidade ótima de compactação sendo 26,1% em massa. A densidade do solo relativa (D_{sr}) foi calculada dividindo a D_s atual pela D_s máxima.

Na colheita, foram avaliados o peso de 100 grãos e assim como a produtividade em uma área de $1,5 \text{ m}^2$, com a umidade ajustada para 13%. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, foi realizado o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro, para comparação das médias, sendo utilizado a programa estatístico SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra 2020/21, houve distribuição irregular das chuvas na região, resultando na ausência de precipitação durante a época recomendada de semeadura da soja, que ocorre entre 25 de outubro e o final de novembro, impossibilitando a semeadura no momento ideal a qual foi realizada no dia 08/12/2020. Segundo Farias; Nepomuceno; Neumaier (2007) a necessidade hídrica da cultura aumenta com o desenvolvimento da planta sendo a fase de floração e

figuras 2, 3, 4, 5 e 6 nas camadas de 0 a 25 cm respectivamente, observa-se os atributos referentes a qualidade física do solo.



*significativo a 5% de probabilidade.

Figura 2. Densidade do solo na camada de 0 até 25 cm de profundidade.

A Ds para solos de textura argilosa apresenta como valor crítico $1,45 \text{ g cm}^{-3}$, porém para condições de cultivo em SPD a densidade é menor em superfície, tendo seus valores aumentados conforme as camadas. No entanto a densidade obtida em superfície do solo já apresenta impedimentos a cultura da soja, uma vez que, nas camadas mais superficiais já é superior ao valor crítico, observa-se que somente nas camadas de 20 a 25 cm (figura 2) apresentou valores inferiores ao índice crítico. No entanto para Argenton et al. (2005) solos de textura argilosa quando a Ds for superior a $1,30 \text{ g cm}^{-3}$, são indicadas práticas de cultivo que favoreçam o crescimento do sistema radicular e reduzam a densidade, principalmente pela introdução de espécies que aportam grande quantidade de materiais orgânicos. Nesse sentido o solo apresenta aspectos que podem evidenciar o manejo incorreto do sistema ILP, levando o solo a compactação, podendo ter ocorrido o impedimento do crescimento radicular da cultura da soja.

Os resultados obtidos estão de acordo com dados apresentados por Bertollo et al. (2021) onde constatou-se que solos cultivados com culturas antecessoras ocorre pouca variação de valores de densidade independente da planta utilizada e sua capacidade de emissão de raízes.

Os valores apresentaram diferenças estatísticas quando submetidos ao teste de tukey a 5% de probabilidade, evidenciando que em camadas superficiais até 15 cm a D_s foi superior a camadas de 15 até 25 cm, podendo afirmar que há a presença de compactação superficial do solo.

A porosidade total do solo não apresentou diferença estatística nas camadas, variando de 48 a 53% (figura 3). A porosidade total é um bom parâmetro para se analisar a quantidade de poros presente no solo, uma vez que esses são responsáveis por drenagem e retenção de água do solo, sendo divididos em macroporos e microporos. Seus valores podem variar de 40% até 60% valor esse que pode ser até maior em solos de textura argilosa. Resultado esse que corrobora em partes com Stone & Silveira (2001) onde o solo sob SPD, na camada de 0-10 cm, pelo seu não-revolvimento e pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas, apresentou maior valor de D_s e menor de P_t .

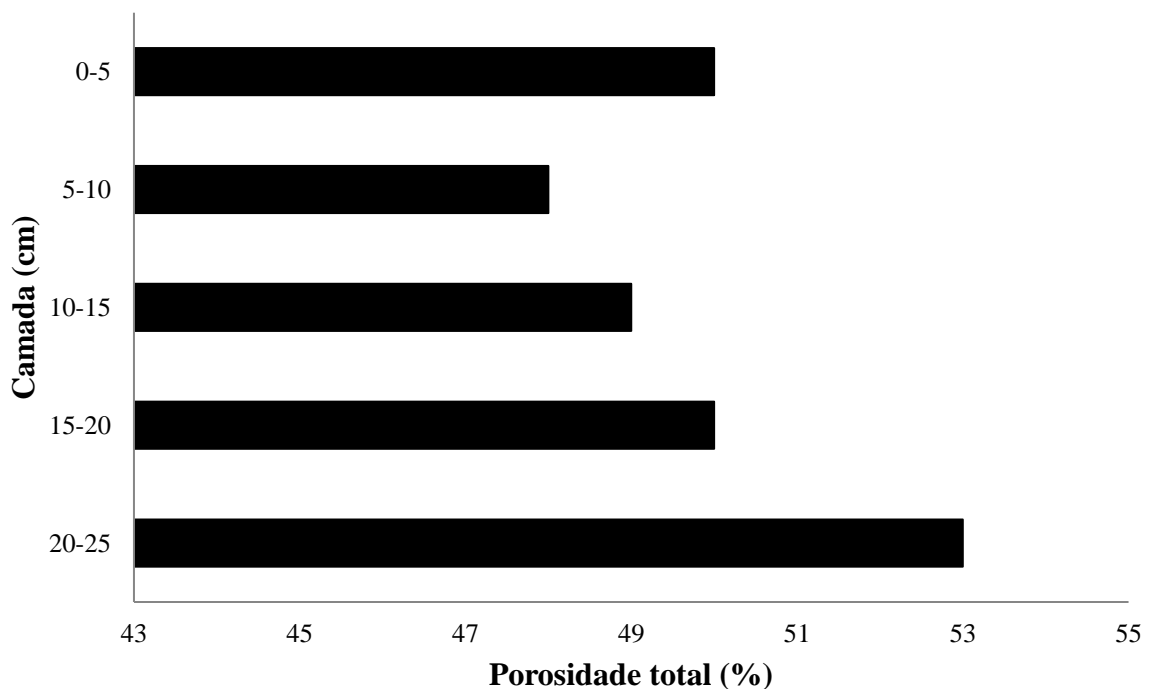


Figura 3. Porosidade total do solo na camada de 0 até 25 cm.

A compactação superficial do solo por sua vez pode ter impacto negativo na retenção de água e, conseqüentemente, na produtividade da cultura. Para otimizar os níveis produtivos, é crucial adotar medidas que visem melhorar a estrutura do solo, como a redução da compactação, o estímulo à formação de macroporos e a promoção de condições favoráveis para uma melhor retenção adequada de água em todas as camadas do solo. O alongamento adequado das raízes é importante para o crescimento das plantas, especialmente em solos onde a disponibilidade de água e nutrientes é limitada, pois nestas situações o alongamento das raízes

é mais lento, resultado da combinação de estresse hídrico e impedimento mecânico corroborando com as condições do presente estudo (BENGOUGH et al., 2011).

A macroporosidade é composta por poros com diâmetro aparente maior que 0,05 mm. Na prática, macroporos são os poros que drenam a água quando submetidos a uma tensão igual a 6 kPa (ALBUQUERQUE & GUBIANI, 2023).

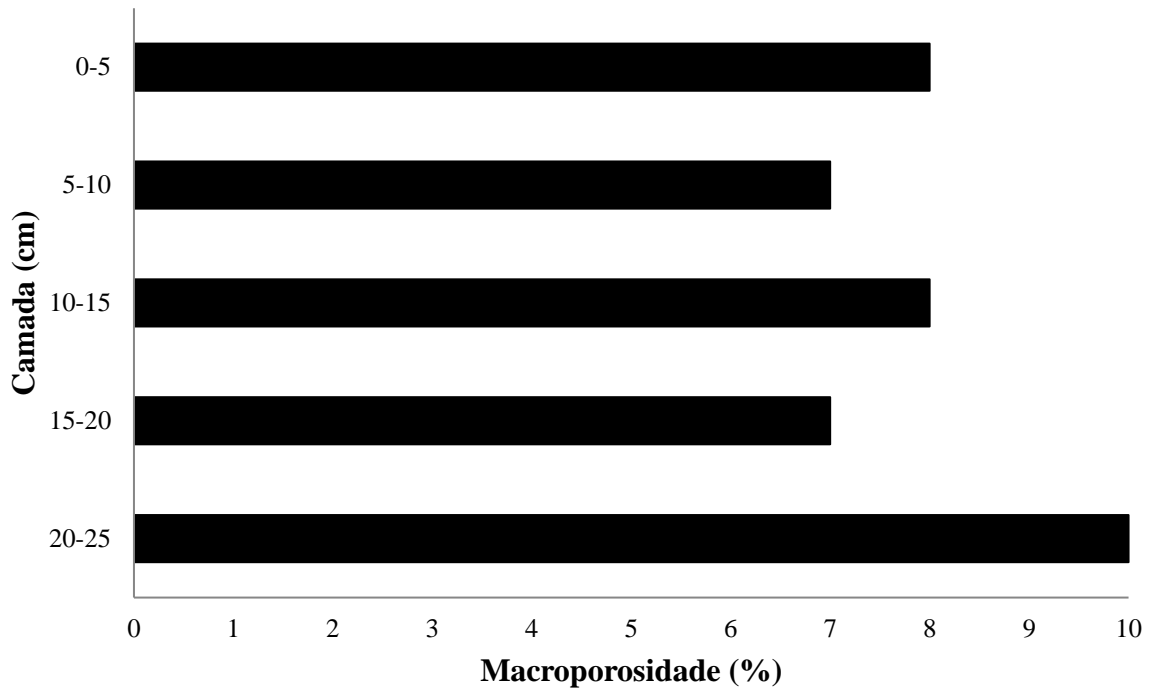


Figura 4. Macroporosidade do solo na camada de 0 até 25 cm de profundidade no local do experimento.

A análise da macroporosidade do solo apresenta valores nas camadas até 20 cm inferiores a 10% valor mínimo para o bom desenvolvimento da cultura, sendo que somente na camada de 20 a 25 cm esse valor é atingido.

A compactação do solo superficial, causada por práticas como o uso de maquinários pesados, tráfego intenso ou ainda como nesse caso a lotação animal por longos períodos, compromete a formação e a manutenção dos espaços vazios necessários para o crescimento adequado das raízes e a infiltração de água. Essa condição prejudica o desenvolvimento das plantas, reduzindo sua capacidade de absorver nutrientes e água, o que afeta diretamente a produtividade da cultura. Sendo que são os poros que mais favorecem a aeração, infiltração e redistribuição de água, permitindo a movimentação da fauna e o crescimento das raízes das plantas no perfil do solo (ALBUQUERQUE & GUBIANI, 2023).

Um aspecto importante a ser considerado é a análise dos microporos (Figura 5), os quais são responsáveis pela retenção de água no sistema, tornando-a disponível para as plantas por

períodos prolongados. Não houve diferença da porcentagem de microporos ao longo das camadas de solo. Fator esse que condiz com Stone e Silveira (2001) onde afirma que a microporosidade é aumentada em SPD em comparação aos demais preparos ao longo dos anos.

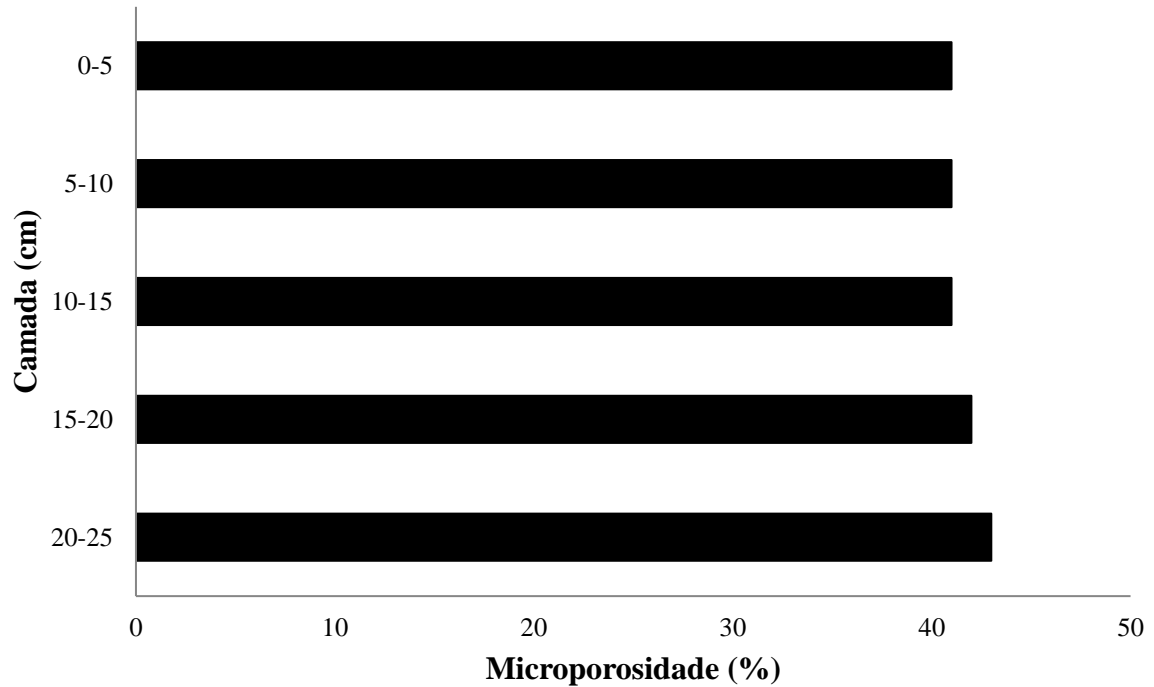
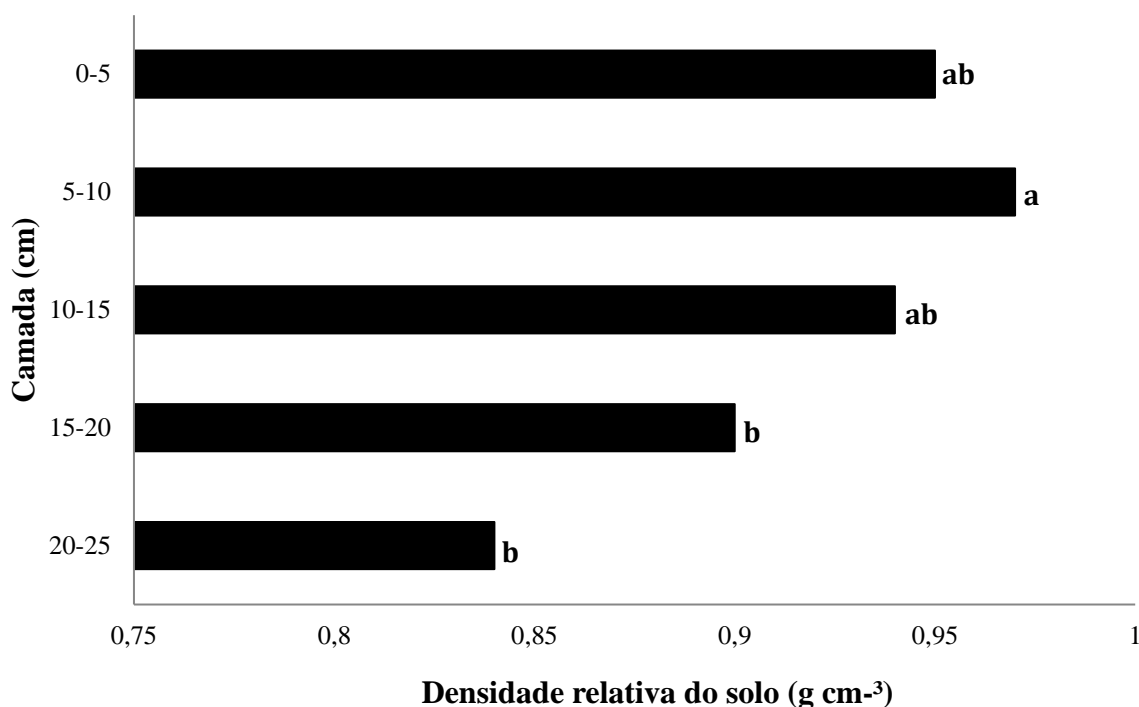


Figura 5. Microporosidade do solo na camada de 0 até 25 cm de profundidade.

A Dsr é outra ferramenta possível de avaliar a compactação do solo, para a máxima produtividade de grãos para a cultura da soja em latossolo vermelho com 65% de argila o valor ideal de Dsr é de $0,86 \text{ g cm}^{-3}$ (ALBUQUERQUE & GUBIANI, 2023).



*significativo a 5% de probabilidade.

Figura 6. Densidade relativa do solo na camada de 0 até 25cm.

Valores encontrados nas camadas superficiais do solo de 0 até 15 cm são superiores ao valor ideal, já nas camadas de 15 a 25 cm está próximo ao ideal entrando em acordo com a D_s demonstrando uma possível compactação superficial do solo. A compactação do solo causa um menor crescimento da planta pela redução da aeração e absorção de água e nutrientes no solo (CALONEGO et al., 2011). No estudo de Custódio et al. (2015) não foi observado a diferença na D_{sr} e nem na qualidade física do solo devido aos sistemas de manejo os quais foram comparados o sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP) com mata nativa e outros. Discordância essa explicada possivelmente pelo manejo inadequado do sistema ILP onde o presente estudo foi realizado.

Estudos mostram que em anos de déficit hídrico, a presença de restos culturais de cultivos anteriores pode aumentar a produtividade (BEUTLER et al., 2021). A manutenção da palhada é um dos pilares do SPD, juntamente com a rotação de culturas e a ausência de revolvimento do solo. A adoção de modelos de produção com maior diversidade de espécies vegetais e maior aporte de palha e raízes, em conjunto com a ausência de revolvimentos de solo desnecessários, melhoram a estrutura e proporcionam maior cobertura do solo (DIAS et al., 2022).

Esses pilares são interdependentes e trabalham em conjunto para promover a qualidade do solo, a sustentabilidade agrícola e a produtividade a longo prazo. Ao adotar práticas de

manejo que valorizam a rotação de culturas, a cobertura do solo com palha e a não revolvimento do solo, os agricultores podem enfrentar desafios como o déficit hídrico e a compactação com menores perdas, garantindo melhores resultados econômicos e ambientais em suas culturas, tendo em vista que em anos com elevada precipitação pluvial, o manejo não ocasiona variação de conteúdo de água na camada de 0-10 cm de profundidade (BORTOLUZZI & ELTZ, 2000).

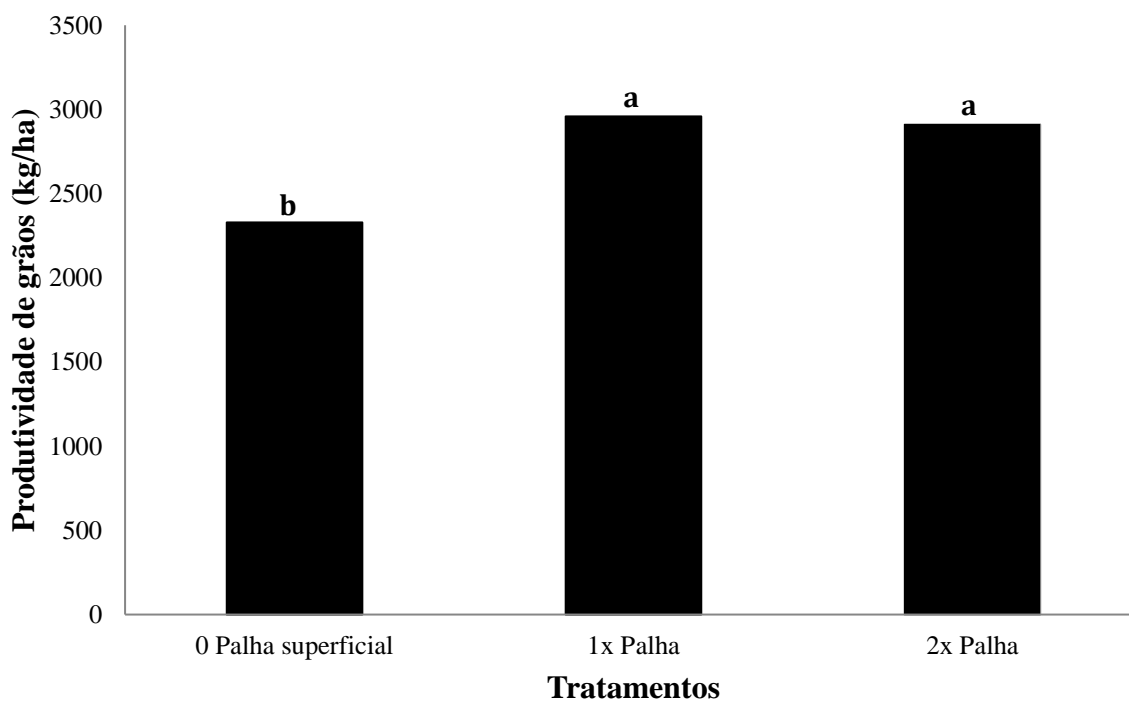


Figura 7. Produtividade de grãos da soja por tratamento.

Houve maior produtividade na presença de palhada superficial em comparação com o solo onde foi retirada a palha superficial do azevém. No entanto, não houve diferença quando a quantidade de palha superficial de azevém foi duplicada. Resultados esses que foram semelhantes aos encontrados por Balbinot junior et al. (2017), em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, que mostram aumento de produtividade nos tratamentos com palha de cobertura quando comparados ao pousio em ano de baixa precipitação. Corroborando com o trabalho de Balbinot junior et al. (2017) onde a produtividade de grãos da soja obteve aumento quando se cultivou *Urochloa ruzizizensis* e *Urochloa brizantha* como plantas de cobertura no inverno em comparação ao pousio.

O uso de palhada no sistema de SPD traz benefícios indispensáveis para as culturas subsequentes. A cobertura morta proporcionada pela palhada aumenta o armazenamento de água no solo (MORAES et al., 2018). No contexto do SPD, altas quantidades de palha superficial são desejáveis, pois reduzem a evaporação da água do solo, mantendo-o mais úmido

e atenuando os efeitos prejudiciais da compactação do solo no crescimento radicular e na produtividade das culturas.

Portanto, a presença de uma cobertura adequada de palha no solo é um fator chave para alcançar melhores resultados produtivos e sustentáveis. Os benefícios da palhada vão além da retenção de água, englobando também a proteção contra erosão, a melhoria da estrutura do solo e a promoção da atividade biológica benéfica.

4 CONCLUSÃO

A distribuição irregular de precipitações aliado a compactação superficial do solo foram fatores que determinaram a produtividade da cultivar, no entanto nos tratamentos onde havia palha em superfície obteve-se um aumento de 21% de produtividade quando comparado ao tratamento onde foi retirada a palha superficial.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Santa Maria, 2023, 344p.

ALVARENGA, R.C et al. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan. /fev. 2001.

ARGENTON, J. et al. **Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. 2005**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VK48bCcnBcTgnTzdw8STWG/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 02 de junho de 2023.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. **Contribuição de raízes e parte aérea de espécies de braquiárias no desempenho da soja em sucessão**. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/dBkZJW8Y5TJXTNL4TRwZ35M/?lang=en> Acesso em: 02 de junho de 2023.

BARTH NETO, A. et al. **Perfilamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo**. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/9NkQ45MMdDPPvDptNZG6vxM/?lang=pt> Acesso: 04 de junho de 2023.

BENGOUGH, A.G et al. **Alongamento da raiz, estresse hídrico e impedância mecânica: uma revisão das tensões limitantes e características benéficas da ponta da raiz**. Journal of Experimental Botany, Volume 62, Edição 1, janeiro de 2011, páginas 59–68. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>. Acesso em: 05 de junho de 2023.

BERTOLLO, AM, DE MORAES et al. **Os pré-cultivos aliviam as limitações físicas do solo para o crescimento da raiz da soja em um Latossolo do sul do Brasil**. Soil and Tillage Research, v 206, 104820, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104820>. Acesso em: 05 de junho de 2023.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. **Resistência do solo à penetração e faixa hídrica mínima limitante para a produtividade da soja em um haplustox do Brasil**. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/rhd6XxrdbGRcCRbDcNRbBjh/?lang=en> Acesso em: 05 de junho de 2023.

BEUTLER, A.N et al. **Soil compaction and cover with black oat on soybean grain yield in lowland under no-tillage system**. Ciência Rural, Santa Maria, v.51:11, e20200927, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/GqfWw36KRDw3fvQR7xySzMv/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 06 de junho de 2023.

BORTOLUZZI, E.C.; ELTZ, F. L. F. **Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto**. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7wNS37MJw8YdLNjzmnThCft/?lang=pt> Acesso em: 07 de junho de 2023.

CALONEGO, J. C et al. **Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado.** Bioscience Journal, v.27, p.289-296, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277168119_Desenvolvimento_de_plantas_de_cobertura_em_solo_compactado_Cover_crops_growth_in_compacted_soil Acesso em: 07 de junho de 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira.** Grãos, v. 8 - Safra 2020/21, n. 9 - Nono levantamento, Brasília, p. 1- 121, junho 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 07 de junho de 2023.

COSTA, N.R et al. **Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.10, p.8-16, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277595214_Produtividade_da_soja_sobre_palhada_de_forrageiras_semeadas_em_diferentes_epocas_e_alteracoes_quimicas_no_solo. Acesso em: 08 de junho de 2023.

CUSTÓDIO, G. D et al. **Densidade do solo e densidade relativa-indicadores da qualidade física de um Latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa.** Revista Campo Digital, v.10, 2015. Disponível em: <https://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1936>. Acesso em: 08 de junho de 2023.

DEUSCHLE, Dinis et al. **Espécies de cobertura de solo e sua influência sobre o rendimento do trigo e da soja em sucessão.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Centro de Convenções – Natal, RN, 2015. Disponível em: <https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/407.pdf> Acesso em 09 de junho de 2023.

DIAS, P.H.A et al. **Fertilidade e qualidade do manejo do solo em modelos de produção de soja no norte e noroeste do Paraná.** 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1148078/fertilidade-e-qualidade-do-manejo-do-solo-em-modelos-de-producao-de-soja-no-norte-e-noroeste-do-parana>. Acesso: 09 de junho de 2023.

EMBRAPA. **Soja em números – Safra 2021/22. Londrina:** Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 27 de maio de 2023.

FARIAS, J. R. B., NEPOMUCENO, A. L., & NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>. Acesso em 30 de maio de 2023.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2018. **Evolução da área de plantio direto no Brasil.** Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>. Acesso: 10 maio 2023.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. AL Flint e LE Flint, “Particle Density,” Em: JH Dane e GC Topp, Eds., Métodos de Análise de Solo, Parte (4), Métodos Físicos, 3ª Edição, SSSA, Madison, 2002, pp. 229-241.

FONTANELI, R.S et al. **Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.349-355, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/CPKV58jrTScqgyNsTHgj6yK/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 10 de maio de 2023.

LIMA, C.L.R et al. **Compressibilidade do solo e intervalo hídrico mínimo de um solo construído sob culturas de cobertura após a mineração de carvão no sul do Brasil.** 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198712001298> Acesso em 22 de maio de 2023.

MORAES, M.T. et al. **Modelagem da dinâmica da água em sistemas de preparo de um Latossolo Vermelho.** Scientia Agraria, versão On-line ISSN 1983-2443, versão Impressa ISSN 1519-1125, v 19, n°. 1, Curitiba Jan/Mar 2018 p. 142-152. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191448/1/Moraes-Modelagem.pdf> Acesso em 24 de maio de 2023.

NABINGER, C.; MARASCHIN, G.E.; MORAES, A. **Pasture related problems in beef cattle production in Southern Brazil.** In: Simposio Internacional "Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology", Curitiba, 1999. Anais. Curitiba: UFPR, 1999. p.23-48.

PEREIRA, R.A et al. **Influência da cobertura de aveia-preta e milho sobre comunidade de plantas daninhas e produção de soja.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, p.1-10, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/72273/2-s2.0-80052424737.pdf;jsessionid=81923B1C77AA6421AC17A5A4EB165DA5?sequence=1>. Acesso em 25 de maio de 2023.

PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização.** Campinas-SP: Instituto Campineiro de Estudo Agrícola, p. 172 a 180, 2002. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=22901&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22PUPO> Acesso em 26 de maio de 2023.

ROSIM, D.C et al. **Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície.** 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/pT8hwVBpG6V7rJBsxFR5mZL/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 29 de maio de 2023.

SANTOS, H.P et al. **Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de produção integração lavoura-pecuária.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.8, p.49-56, 2013b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977156/rendimento-de-graos-de-soja-em-diferentes-sistemas-de-producao-integracao-lavoura-pecuaria> Acesso em 06 de junho de 2023.

SCHUSTER, M. Z et al. **Intensidades de pastejo afetam a emergência de mudas de plantas daninhas e o banco de sementes em um sistema integrado lavoura-pecuária.** ScienceDirect, V 232, 16 de setembro de 2016, páginas 232-239. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880916304005> Acesso: 05 de julho de 2023.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. **Caracterização da Faixa Hídrica Limitante Mínima dos Solos.** 1994. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x> Acesso em 2 de julho de 2023.

SILVA, S.G.C et al. Efeito temporal da escarificação sobre a compactação em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xfT8csPTsDjwggwZxMkpSTPj/#>. Acesso em 03 de maio de 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - NÚCLEO REGIONAL SUL - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Disponível em: https://www.siabrasil.com.br/wpcontent/uploads/2017/08/manual_adubacao_calagem_rs_sc.pdf Acesso em 29 de maio de 2023.

SORATO, R.P et al. **Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho**, cultivados solteiros e consorciados. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/jd7jz3fkHD9SHpCxQzyBtpp/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 22 de maio de 2023.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo.** 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZBcBQL7kpYJ6RtjCgnZDVFP/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 5 de 18 de junho de 2023.

TEDESCO, M. J et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5). Disponível em: https://rolas.cnpt.embrapa.br/arquivos/manual_rolas.pdf Acesso em 30 de maio de 2023.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água.** Porto Alegre, UFRGS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149123/001005239.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 12 de junho de 2023.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. **Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach.** Soil and Tillage Research, Volume 52, Issues 3–4, October 1999, Pages 223-232 52: 223-232. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198799000860> Acesso em 30 de junho de 2023.

WREGE, M. S et al. **Atlas climático da Região Sul do Brasil:** Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul> Acesso em 24 de junho de 2023.

ANEXOS

Fotos do experimento da soja, safra 2020/21.



ANEXO A – Estabelecimento dos tratamentos.



ANEXO B – T1 Retirada da palha superficial.



ANEXO C – Matéria orgânica do solo.



ANEXO D – Retirada da palha do azevém.



ANEXO E – Demarcação T2 e T3.



ANEXO F – Estabelecimento de plantas T1 e T2.



ANEXO G – Quantidade de palha T2 e T3.



ANEXO H – Estabelecimento de plantas no
T3 e T2.