

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE PREPARO SOBRE  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

**THAYNÁ MENDES MACHADO**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021**

THAYNÁ MENDES MACHADO

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE PREPARO SOBRE  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza  
Coorientador: Prof. Dr. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M149n Machado, Thayna Mendes

Níveis de compactação e sistemas de preparo sobre atributos físicos e produtividade de soja [recurso eletrônico] / Thayna Mendes Machado. -- 2021.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Marcio Alves de Souza.

Coorientador: Sálvio Napoleão Soares Arcoverde.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Plantio direto. 2. Componentes de produtividade. 3. Densidade do solo. 4. Preparo do solo. I. Souza, Cristiano Marcio Alves De. II. Arcoverde, Sálvio Napoleão Soares. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

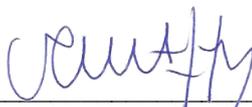
**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE PREPARO SOBRE ATRIBUTOS  
FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

por

Thayná Mendes Machado

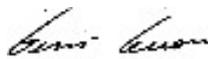
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA.

Aprovada em: 25 de agosto de 2021.



---

Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza  
UFGD  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Gessi Ceccon  
EMBRAPA



---

Prof.ª Dr.ª Nelci Olszewski  
UNIVASF

À quem me apoiou, quem me ajudou e me fez chegar até aqui!

Aos meus pais, Maristela Mendes Arcas Machado e Carlos Henrique Ferreira Machado, pelo amor, pela dedicação e por sempre acreditarem em mim.

À minha Avó Teresinha Mendes Arcas, que em poucos dias foi brilhar no céu, minha eterna gratidão pelo amor, pelo cuidado, carinho e incentivo.

Aos meus irmãos, em especial a minha irmã Ana Carolina Mendes, por todo apoio quando precisei me ausentar.

Ao meu esposo, Angelo Dambros, que foi um dos maiores incentivadores, grata pelo apoio e empenho para a realização desse trabalho.

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela capacitação e por me fortalecer em todos os momentos. Sem ele nada seria possível.

À minha família, pelo incentivo e por acreditarem em mim.

Ao meu orientador, Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza, pela orientação, paciência e profissionalismo repassados, pelos ensinamentos que foram essenciais para minha evolução acadêmica.

Ao meu coorientador, Dr. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde, pela paciência, auxílio durante a realização do trabalho, pelos ensinamentos e compreensão nessa jornada.

À minha amiga de pós-graduação, Andressa Chagas, grata pela ajuda, dedicação e companheirismo.

Aos bolsistas envolvidos, Fábio Ferreira, Henrique Soares, Ana Laura Fialho, Erich Paiva e Rodolfo, pelo apoio nas atividades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e atenção.

Muito Obrigada!

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultura da soja.....	3
2.2 Sistemas de preparo de solo.....	3
2.3 Compactação do solo.....	5
2.4 Atributos físicos do solo.....	6
2.5 Componentes de produtividade da soja e atributos físicos do solo.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Local.....	9
3.2 Delineamento experimental.....	10
3.3 Instalação do experimento.....	10
3.4 Insumos e equipamentos utilizados.....	10
3.5 Atributos físicos do solo.....	12
3.6 Características e componentes de produtividade da cultura da soja.....	12
3.7 Análises estatísticas.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Análise de variância dos dados do solo.....	14
4.2 Atributos físicos do solo.....	15
4.3 Análise de variância de produção e sua correlação com atributos físicos.....	22
4.4 Desempenho agrônômico com atributos físicos do solo.....	25
5 CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

MACHADO, Thayná Mendes. **Níveis de compactação e sistemas de preparo sobre atributos físicos do solo e produtividade da soja**. 2021. 39f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

## RESUMO

O preparo do solo e manejo de cultivos, principalmente no plantio direto (PD), devido à ausência do revolvimento do solo associada ao contínuo tráfego de máquinas, pode ocasionar compactação do solo e redução na produtividade das culturas. Objetivou-se avaliar a compactação do solo em dois sistemas de preparo sobre os atributos físicos e os fatores que influenciam os componentes de produtividade da soja. O experimento foi realizado na Fazenda Cedro, localizada no município de Dourados-MS. Foi utilizado a cultivar de soja de ciclo precoce, a Monsoy 6410 IPRO. O solo é um Latossolo Vermelho Distroférrico, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos, casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo os tratamentos constituídos por dois sistemas de cultivo da soja (preparo convencional e plantio direto), quatro níveis crescentes de compactação induzidas do solo (zero, três, seis e nove passagens de um trator agrícola), com quatro repetições. Foram avaliados os atributos físicos do solo, o crescimento e a produtividade da cultura da soja. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativo pelo teste F. Utilizou-se o teste de Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade, para comparar as médias de sistemas de preparo do solo, e análise de regressão para níveis de compactação. Para analisar a relação existentes entre os atributos do solo com o crescimento e a produtividade da soja foi usado o coeficiente de Pearson, a 5% de probabilidade. Havendo correlação significativa entre variáveis aplicou-se a análise de regressão linear. A macroporosidade do solo foi afetada significativamente pela compactação e pelo cultivo somente a camada de 0,00-0,10 m, havendo interação entre o sistema de preparo do solo e número de passagens do trator. Em relação à microporosidade, esta não foi afetada em nenhum dos tratamentos. A porosidade total foi influenciada significativa pelos tratamentos na camada de 0,10-0,20 m, mas não sendo afetada na camada superficial. Para a densidade do solo houve efeito somente da compactação na camada de 0,10-0,20 m, onde a partir de três passagens do trator, ocorreu o aumento da densidade. Para resistência do solo à penetração, também houve efeito significativo da compactação do solo, entretanto, na camada superficial, sendo crescente conforme o número de passagens do trator. A produtividade de grãos foi influenciada pelos dois fatores isolados e para interação evidenciando a superioridade produtiva da soja em ambos os sistemas de preparo. A resistência do solo à penetração e macroporosidade foram alterados na camada subsuperficial do preparo convencional, conforme o aumento da intensidade de tráfego de trator. O aumento do nível de compactação do solo propicia aumento da densidade, reduções da macroporosidade e porosidade total na profundidade subsuperficial do solo, principalmente na área com preparo convencional. O crescimento, os componentes de produção e a produtividade da soja não são influenciados pelos sistemas de preparo do solo, enquanto ao aumentar o nível de compactação reduz a produtividade.

**Palavras-chave:** plantio direto; componentes de produtividade; densidade do solo; preparo do solo.

MACHADO, Thayná Mendes. **Compaction levels and tillage systems on soil physical attributes and soybean yield.** 2021. 39f. Dissertation (Master) - Graduate Program in Agronomy. Federal University of Grande Dourados, Dourados, MS.

### ABSTRACT

Soil preparation and crop management, especially in no-tillage, due to the absence of soil disturbance associated with continuous machine traffic, can cause soil compaction and reduced crop productivity. The objective was to evaluate soil compaction in two tillage systems on physical attributes and factors influencing soybean yield components. The experiment was carried out at Fazenda Cedro, located in the city of Dourados-MS. The early cycle soybean cultivar, Monsoy 6410 IPRO, was used. The soil is a clayey-textured Oxisol. The experimental design used was a randomized block design in a split-plot scheme, with treatments consisting of two soybean cropping systems (conventional tillage and no-tillage), four increasing levels of induced soil compaction (zero, three, six, and nine passes of an agricultural tractor), with four repetitions. Soil physical attributes, growth, and soybean yield were evaluated. The data obtained were submitted to analysis of variance and, when significant, by the F test. The Student-Newman-Keuls test was used, at 5% probability, to compare the means of tillage systems and regression analysis for compression levels. Pearson's coefficient was used to analyze the relationship between soil attributes with soybean growth and productivity at 5% probability. If there was a significant correlation between variables, linear regression analysis was applied. Soil macroporosity was significantly affected by compaction and cultivation only in the 0.00-0.10 m layer, with an interaction between the tillage system and the number of tractor passes. Regarding microporosity, this was not affected in any of the treatments. Treatments significantly influenced the total porosity in the 0.10-0.20 m layer, but it was not affected in the superficial layer. For soil density, there was only an effect of compaction in the layer of 0.10-0.20 m, where after three passes of the tractor, there was an increase in density. There was also a significant effect of soil compaction for soil penetration resistance, however, in the surface layer, increasing with the number of passes of the tractor. Grain yield was influenced by the two isolated factors and interaction, showing the superiority of soybean yield in both tillage systems. While the tractor traffic intensity increased, the soil resistance to penetration and macroporosity were altered in the subsurface layer of the conventional tillage. The increase in the level of soil compaction provides an increase in density, reductions in macroporosity, and total porosity in the subsurface soil depth, especially in the area with conventional tillage. Tillage systems do not influence soybean growth, production components, and yield, but increasing the compaction level reduces yield.

**Keywords:** no-tillage; productivity components; soil density; soil preparation.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é umas das principais culturas de grãos em território Brasileiro, sendo a mais produtiva em nível mundial que cresce constantemente. O Brasil registrou a marca no ranking mundial ocupando o primeiro lugar como o maior produtor de grãos, com incremento de 4,2 % em relação a safra anterior (CONAB, 2021). Em Mato Grosso do Sul, a produtividade de soja foi recorde na safra de 2020/21, com a produtividade média de 3.769 kg por hectare (SBA, 2021). Este destaque é decorrente de uso adequado de maquinários, cultivares adaptadas e o tipo de manejo utilizado.

A compactação do solo é um resultado insatisfatório da mecanização agrícola (HILLEL, 1998), pois modifica a estrutura do solo, limita o desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea, resultando em decréscimo da produção. O crescimento das raízes e parte aérea das plantas é influenciado por diferentes atributos físicos do solo, com interações que implicam o potencial da água no solo, o teor de oxigênio e a resistência do solo à penetração das raízes (TORMENA et al., 1998), fatores que podem ser restritivos ao desenvolvimento das plantas e à manutenção do potencial produtivo da cultura.

No cultivo da soja, frequentemente são relatados problemas de compactação nas camadas superficial e subsuperficial do solo, geralmente ocasionado pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas, que posteriormente resulta no decréscimo da produtividade. Para esta cultura, segundo Silva et al. (2006), observaram redução no crescimento da parte aérea em densidade superior a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto para Arcoverde et al. (2020) há redução a partir de  $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ .

A problemática em estudo está relacionada ao preparo do solo, visto que quando o solo é manejado de forma inadequada, ele influencia de maneira direta ou indireta nas propriedades físicas do solo. Nesse caso, solos muito densos apresentam maior dificuldade na interação mecânica, tornando mais difícil o sistema de manejo convencional. Um dos atributos do solo que podem sofrer modificação devido ao tipo de manejo adotado é a resistência à penetração, que está ligada ao estado de compactação do solo, e pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e provocar decréscimo na produtividade (TROLEIS, 2020).

Atributos físicos do solo como textura, densidade e porosidade, levando em consideração a matéria orgânica disponível no solo, influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento da soja, visto isso, estes atributos funcionam como indicadores de qualidade física do solo. A densidade do solo influencia na porosidade e condutividade hidráulica, acarretando uma possível compactação do solo, ou seja, com o aumento da densidade há diminuição da porosidade total, macroporosidade, infiltração e retenção de água, aumentando a porosidade e a resistência mecânica à penetração do solo, gerando uma compactação e a diminuição da produtividade da cultura (HASKEL, 2019).

No sistema de plantio direto, a ausência do revolvimento do solo associada ao tráfego intenso de máquinas, pode ocasionar a compactação do solo que possivelmente dificulta o manejo do solo, e posteriormente, influencia o desenvolvimento e a produtividade das culturas, pois o sistema radicular da soja possui uma raiz principal e raízes secundárias ao seu entorno, que possuem profundidade de 15 a 180 cm. Caso haja compactação do solo na profundidade de enraizamento da planta e modificação nos atributos físicos do solo, haverá comprometimento de suas características de crescimento e produção.

Diante da importância econômica da soja e o grande aumento na demanda de grãos dessa cultura, são primordiais os estudos científicos acerca dos sistemas de produção e o avanço tecnológico para expandir sua produtividade, competitividade e rentabilidade. Ainda, com a expansão generalizada dos sistemas de plantio para o cultivo da soja, faz-se necessário o estudo da compactação que ocorre nos sistemas de preparo de solo (BEUTLER et al., 2006).

Dessa forma, objetivou-se avaliar a compactação do solo em dois sistemas de preparo com seus atributos físicos, bem como os fatores que influenciam os componentes de produtividade da soja.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da soja

Segundo Conab (2021), atualmente, a soja é cultivada em 38,502 milhões de hectares, estimando um valor de produtividade de 3.517 kg ha<sup>-1</sup> ocupando a posição do recorde mundial com a produção de 135,409 milhões de toneladas na safra 2020/21, com aumento significativo de 4,1% comparado à safra anterior.

O rendimento máximo da cultura é obtido através uma variedade altamente produtiva e bem adaptada ao ambiente de crescimento, sem a ocorrência de fatores que limitam as espécies durante todo o seu ciclo. A expressão do rendimento máximo de grãos de uma cultura é estabelecida, principalmente, por suas características genéticas e posteriormente pelas respostas ao ambiente predominante, podendo ser afetada pelo manejo do cultivo (FELICETI, 2019).

O incremento de produtividade é resultante do uso eficiente de bons maquinários, implementos agrícolas, fertilizantes e defensivos agrícolas, que em contrapartida, podem ocasionar a compactação, modificando as características físico-químicas do solo (STEFANOSKI et al., 2013; SOUZA, 2020).

### 2.2 Sistemas de preparo de solo

Em sistemas de produção agrícola, o planejamento adequado das atividades envolvidas ao longo do ciclo das culturas, desde o preparo do solo até a colheita, é de suma importância para um bom desempenho das culturas e produtividade, visando obter resultados satisfatórios em relação à atividade agroindustrial, que por sua vez, está inteiramente ligada à quantidade e qualidade de produção (CORTEZ et al., 2018). Neste contexto, dentre as etapas do manejo de solo, o preparo é uma das etapas, que, consideravelmente influi na qualidade física do solo. Assim, os diferentes sistemas de manejo de solos têm por finalidade de proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, quando as operações de campo são realizadas em condições de solo úmido e consistência friável para o preparo do solo, a intensidade do tráfego de máquinas para essas operações podem ocasionar modificações na estrutura do solo, resultando em diferentes níveis de compactação (STRECK et al., 2004). Aliado a isso, a mobilização mecânica provoca alteração no arranjo das

partículas do solo, que por sua vez, modifica a estrutura do solo, bem como, a porosidade, capacidade de retenção de água e resistência mecânica (SECCO, 2003).

Nessas condições de degradação estrutural do solo, a compactação resultante do manejo inadequado, poderá interferir em propriedades e processos importantes para a manutenção da qualidade do solo, como na infiltração de água no solo, na condutividade hidráulica do solo saturado e no desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, podendo reduzir sua produtividade (DERPSCH et al., 1991; TAVARES FILHO e TESSIER, 1998; DE MARIA et al., 1999).

No entanto, com o intuito de mitigar possíveis efeitos negativos oriundos da mecanização na agricultura, provenientes desde o preparo do solo até a colheita, adotou-se técnicas de manejo que permitem reduzir a degradação estrutural dos solos. Na tentativa de solucionar os problemas conseqüentes do sistema de preparo convencional, surgiram os preparos conservacionistas, que possibilitam menor mobilização do solo e assegura a maior proteção da superfície do solo com os resíduos culturais. O plantio direto é um manejo conservacionista adotado que consiste em minimizar a mobilização do solo (RICHART et al., 2005).

Carpenedo e Mielniczuk (1990) comparando manejos do solo, verificaram que o sistema de plantio direto propicia maior estabilidade de agregados em relação ao preparo convencional. Além disso, a conservação do solo e a redução de riscos de erosões no cultivo da soja estão relacionadas ao uso de sistemas de cultivo que não revolvem o solo, deste modo, conservando a cobertura vegetal (ALMEIDA et al., 2016).

Para o cultivo convencional empregam-se técnicas que consistem em operações constantes como aração, subsolagem e gradagens (KAMIMURA et al., 2009). O uso racional de implementos agrícolas para o preparo convencional ocasiona alterações na estabilidade dos agregados, que por sua vez, diminui a porcentagem de macroagregados e aumenta a de microagregados (CASTRO FILHO et al., 2002).

Além disso, os sistemas de preparo de solo, quando realizados em condições adequadas, proporciona fatores que favorecem o aumento da aeração do solo, disponibilidade e retenção de água e nutrientes e estrutura, envolvidas no crescimento e desenvolvimento radicular (VALADÃO et al., 2015). Em contrapartida, o efeito de manejos inadequados do solo gera um novo desafio da agricultura em busca de melhorias para a exploração agrícola, ou de uma nova condição de equilíbrio do sistema de produção, utilizando-se de práticas sustentáveis de manejo do solo (SERAFIM et al., 2014).

Para Tormena et al. (2004), as técnicas de manejo do solo têm efeito direto em suas propriedades físicas, a avaliação da eficiência dos manejos nas modificações dos atributos físicos do solo e na constituição de um ambiente favorável para o desenvolvimento de determinada cultura. Além disso, para conhecimento de seus efeitos, as pesquisas precisam monitorar alguns atributos físicos principais do solo, tais como a densidade do solo (Ds), a porosidade (Pt) e a resistência do solo à penetração e o crescimento de raízes (RP).

### **2.3 Compactação do solo**

A compactação do solo, por estar diretamente relacionada com o adensamento da massa e, conseqüente redução do espaço poroso do solo, influencia algumas propriedades físicas e mecânicas do solo (BLUM et al., 2014). De acordo com Cunha et al. (2012), a compactação do solo interfere diretamente na produção agrícola, resultando na perda de estabilidade estrutural e diminuição do macro e micro poros, aumentando a resistência do solo, causando alterações, deixando o ambiente físico desfavorável ao crescimento radicular e ao desenvolvimento das culturas (GIAROLA et al., 2007).

No entanto, o excessivo tráfego de máquinas, associado à ausência de rotação de culturas, leva à formação de camadas compactadas no solo sob plantio direto (DEBIASI e FRANCHINI et al., 2012) e, por sua vez, à degradação estrutural do solo, que contribui para a aceleração de processos de erosão.

As áreas sob o sistema de plantio direto no Cerrado são áreas mais compactadas, sendo perceptível por modificações na estrutura do solo e na redução de produtividade das culturas. No sistema de plantio direto há ausência do revolvimento intensivo do solo comparado ao plantio convencional, com isso, associado ao tráfego intensivo de máquinas na área com maior umidade do solo pode ocorrer a compactação do solo (BARROS, 2017).

Sabe-se que o incremento de máquinas e implementos agrícolas maximizam a produtividade da cultura da soja, todavia, a mecanização intensiva pode causar com maior celeridade a deterioração das propriedades físicas do solo, proveniente da falta de controle das operações realizadas no solo, como o tráfego de máquinas com carga alta que não compete à capacidade do solo (FONSECA, 2019).

Ainda, nota-se que, com a compactação do solo, há aumento da taxa de decomposição de matéria orgânica e exposição do solo à chuva, aumentando a

possibilidade de erosão. O tráfego de máquinas e implementos agrícolas altera a estrutura e o grau de cobertura do solo, podendo interferir nas características físicas do solo e no desenvolvimento radicular da planta e, conseqüentemente, na produtividade da cultura (WAGNER, 2017).

O processo de compactação se baseia na junção entre características volumétricas e texturais do solo que causam a modificação da estrutura do solo, entretanto, quando há disponibilidade hídrica este fator não afeta a produtividade da soja. Para Cardoso et al. (2006) no sistema de plantio direto, a compactação nas camadas superficiais é maior que nos sistemas que há revolvimento do solo na camada de 0,20 a 0,30 m.

Para Souza (2020), quando se avalia a compactação no solo, a resistência à penetração é um dos atributos físicos que mais aparecem, pois influencia no desenvolvimento das plantas quando ligado a densidade do solo, que quando aumenta, gera uma diminuição da porosidade total e da macroporosidade, aumentando a resistência à penetração, resultando em uma menor produtividade, porque há uma menor absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular da planta.

#### **2.4 Atributos físicos do solo**

O desenvolvimento das plantas pode ser influenciado por atributos do solo, tais como a textura, densidade do solo, porosidade e estabilidade dos agregados do solo (MONTANARI et al., 2015). Dessa forma, esses atributos podem ser apontados como indicadores de qualidade do solo.

Quando associados ao estudo de variabilidade espacial, permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência antrópica (AQUINO et al., 2014). O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores inerentes à produtividade agrícola do solo constitui uma informação relevante para a tomada de decisão, quanto às práticas de manejo a serem adotadas em relação à física do solo.

A intensidade em que se usa o solo para a agricultura acarreta mudanças em suas características, com aparecimento de camadas compactadas que limitam o desenvolvimento radicular, infiltração maximizada, assim como a aeração e a permeabilidade, todos estes fatores dificultam seu preparo, como indica Rocha (2019). O mesmo, também afirma ter encontrado maiores valores de densidade do solo e de resistência do solo à penetração no sistema de cultivo mínimo e convencional. Ambos os cultivos influenciaram o tamanho dos agregados do solo, diminuindo-os.

O manejo pode modificar a densidade e a porosidade do solo alterando a condutividade hidráulica e dificultando a infiltração da água aumentando o escoamento superficial e os riscos de erosão. A densidade do solo deve estar dentro do intervalo de 1,10 a 1,60 Mg m<sup>-3</sup> em solos minerais, e próximo a 1,60 Mg m<sup>-3</sup> em solos arenosos. Em solos franco-argilosos a argilosos, o valor de densidade é de 1,55 Mg m<sup>-3</sup>. Para o cultivo da soja em solos franco-argilo-arenosos, a densidade deve ser próxima a 1,23 Mg m<sup>-3</sup> (STEFANOSKI et al., 2013).

A textura do solo é utilizada na classificação pedogenética, possuindo a capacidade de influenciar outros fatores como a densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica saturada. Todavia, não é um indicador recomendado, pois não pode alterado de acordo com o manejo utilizado. O volume de poros, a densidade do solo, resistência a penetração e a condutividade hidráulica saturada, são indicativos físicos de crescimento das raízes das plantas e a disponibilidade de água no solo. Os indicadores de avaliação da qualidade do solo também possibilitam analisar alterações que ocorrem a partir da compactação do solo causadas pela ação antrópica em ecossistemas naturais, permitindo caracterizar a situação atual e futura (SILVA et al., 2020). Para Borges et al. (2020) a porosidade total ideal de um solo que visa produção de soja deve ser aproximadamente de 0,50 m<sup>3</sup>.

## **2.5 Componentes de produtividade da soja e atributos físicos do solo**

As respostas das culturas agrícolas sobre condições físicas do solo no preparo de plantio direto, ainda não foram completamente compreendidas, visto que, estão sobre influência de múltiplos fatores, o que gerou discussões sobre os efeitos referentes a produtividade da cultura devido à compactação do solo (MORAES et al., 2018).

As plantas ao longo de seu desenvolvimento, apresentam diferentes respostas à resistência do solo à penetração, variando de acordo as cultivares (MIELNICZUK et al., 1985). As raízes das plantas que crescem em solos com alta resistência à penetração evidenciam modificações morfológicas, reduzindo a área de solo explorado pelas raízes e a absorção de água e nutrientes.

Em condições discrepantes ao crescimento, as raízes emitem sinais à parte aérea certificando que as condições para o desenvolvimento da planta estão sendo limitados e que é necessário reduzir a taxa de crescimento, o que ocasionam decréscimo da produção (TAYLOR e BRAR, 1991; BENGOUGH et al., 2011).

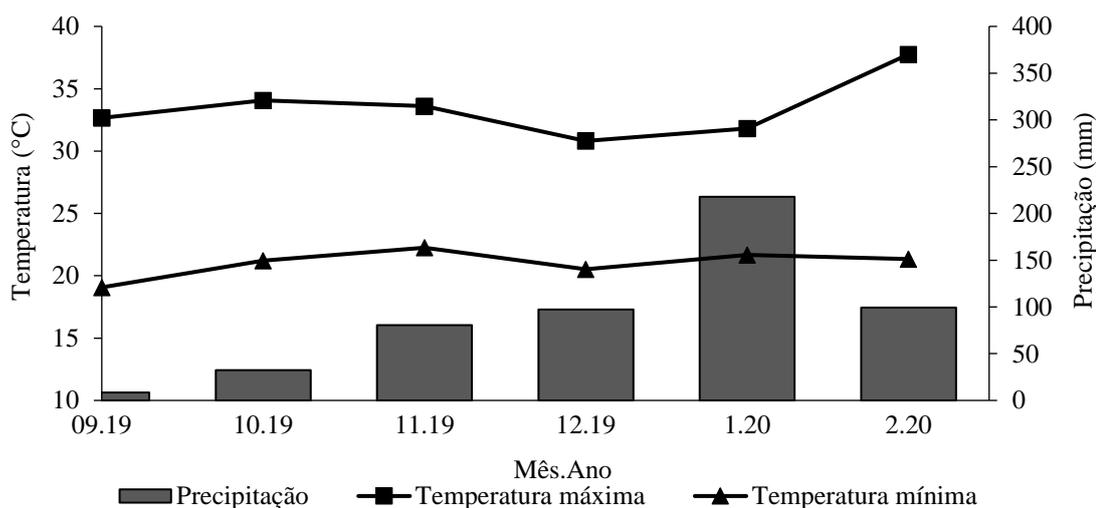
A compactação do solo influencia também nos atributos físico-hídricos do solo, diminuindo sua porosidade total, aumentando sua densidade, minimização da infiltração e retenção de água, e potencial redução final da produtividade da soja (STEFANOSKI et al.,2013; MÜLLER, 2019; RICHART, 2005).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local

O estudo foi realizado na Fazenda Cedro, localizado no município de Dourados, MS, na safra 2019/2020. O local situa-se na latitude 22°16'21" e 54°55'55" de longitude com altitude de 434 m.

O clima da região é do tipo Cwa, temperado e úmido com inverno seco, e precipitação média anual de 1500 mm (FIETZ et al., 2017), e temperatura média anual de 22°C, segundo a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos mensais, referente à precipitação acumulada e à temperatura média (mínima e máxima), obtidos durante o cultivo de soja na região de Dourados-MS, durante o período de setembro de 2019 a fevereiro de 2020, estão apresentados na Figura 1.



Fonte: CEMTEC (2021).

FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais em cultivo de soja na região de Dourados, MS, durante o período de set/2019 a fev/2020. Dourados - MS, 2020.

O solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2018), de textura argilosa, tendo 56,1% de argila, 18,7% de silte e 25,3% de areia, nas camadas de 0,00 a 0,20 m. Os dados obtidos da análise química do solo constam no Quadro 1. A área vem sendo conduzida há mais de 50 anos com soja (*Glycine max*) no verão e milho (*Zea mays*) na segunda safra, em sucessão.

QUADRO 1. Dados referente à análise química do solo da área experimental. Dourados, MS, 2019

pH em água	P mg dm <sup>-3</sup>	Al <sup>+3</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>+2</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>+2</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V%	MO g dm <sup>-3</sup>
6,0	4,1	0,0	7,1	2,9	0,35	64	37

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu-se em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas (2x4), sendo dois sistemas de preparo de solo (preparo convencional e plantio direto) e quatro níveis crescentes de compactação induzidas (zero, três, seis e nove passagens de trator), em quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. As parcelas mediam 4 m de comprimento e 5 m de largura, possuindo uma área total de 20 m<sup>2</sup>.

### 3.3 Instalação do experimento

A área experimental foi dividida em duas subáreas, destinada ao sistema de preparo convencional e ao plantio direto. Para o preparo convencional no dia 04 de setembro de 2019, antes de induzir a compactação do solo, quando o conteúdo de água no solo aproximou-se da faixa friável, iniciou-se a operação de revolvimento do solo, utilizando uma grade aradora de 28 discos de 28”, massa total de 1,725 Mg, com profundidade de trabalho equivalendo a 150 mm. A grade destorroadora-niveladora usada foi uma modelo Tatu ATCRL-6009. Considerando o sistema de plantio direto, foi respeitado a faixa deste tratamento, visto que, este é um sistema em que o revolvimento do solo ocorre somente na linha de semeadura.

### 3.4 Insumos e equipamentos utilizados

A indução dos níveis de compactação do solo por passagens de trator (0, 3, 6 e 9) foi realizada no dia 28 de Setembro de 2019, quando o solo obteve o conteúdo de água em uma faixa próximo a capacidade de campo, ou seja, 0,28 kg kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00 -0,20 m, determinado de acordo com a metodologia da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017). Para tal, foi utilizado um trator agrícola, modelo NH-T7.175, com potência no motor de 144 cv, rodado de pneus radiais, bitola traseira de 2,94 m, bitola dianteira de 1,94 m e massa de 6,8 Mg, com pressão de inflação de 83 kPa nos pneus dianteiros

(14.9-26 8PR R2) e 83 kPa nos traseiros (18.4-38 10PR R2), sendo aproximadamente 40% da massa distribuídas no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro. O deslocamento do trator para indução dos níveis de compactação do solo foi realizado na 3ª B marcha com uma rotação de 1.500 rpm e velocidade de 5,3 km h<sup>-1</sup>. O trator trafegou toda a superfície da parcela, de forma que os pneus comprimam áreas paralelas entre si, sendo o número de vezes trafegado em função do nível de compactação. O tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área de cada parcela seja trafegada com número igual de vezes (VALADÃO et al., 2017).

A cultivar utilizada foi a MONSOY 6410 IPRO de ciclo precoce, hábito de crescimento indeterminado de porte médio, recomendada para a região de Dourados, MS. As sementes utilizadas foram previamente tratadas, a base três ingredientes ativos Piraclostrobina, Tiofanato Metílico e Fipronil, sendo que antes da semeadura foi realizada a inoculação com a bactéria *Bradirhizobium elkanii*. A semeadura foi realizada no mesmo dia da compactação do solo, no dia 28 de setembro de 2019, utilizando uma semeadora-adubadora com dez linhas. O mecanismo sulcador do solo da semeadora foi retirado para não eliminar os possíveis efeitos negativos da compactação, utilizando somente o disco de corte e dosador de sementes. A semeadora foi ajustada para depositar a densidade de semeadura de 12 sementes por metro, com o espaçamento entrelinhas de 0,50 m. No sulco da semeadura, foi aplicado 300 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 2-23-23.

Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura. Para o controle de plantas daninhas, foi realizada uma aplicação em V3 de Roundup Original e Verdict® R. Quanto ao controle de pragas, quando a cultura atingiu o estágio reprodutivo, foi aplicado o inseticida Cipermetrina Nortox 250 EC e uma segunda aplicação em R5 com Engeo Pleno S. Para o controle preventivo de doenças, realizaram-se três aplicações, em três épocas, sendo a primeira aos 45 dias após a semeadura, utilizando fungicida Fox®, a segunda em 60 dias após a semeadura, onde utilizou-se o fungicida Ativum® e a terceira aplicação aos 75 dias após a semeadura utilizando o fungicida Arouch® Prima. Em relação ao controle de percevejos foi feita uma aplicação aos 45 dias após a semeadura, onde utilizou-se o Orthene 750 BR (acefato).

### 3.5 Atributos físicos do solo

Para as determinações dos atributos físicos do solo: densidade ( $D_s$ ,  $\text{Mg m}^{-3}$ ), resistência do solo à penetração ( $RP$ ,  $\text{MPa}$ ), porosidade total ( $P_t$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $Ma$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e microporosidade ( $Mi$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada na entrelinha de cada parcela, com o auxílio de cilindros metálicos de 5,57 cm de diâmetro e 4,41 cm de altura ( $107,45 \text{ cm}^3$ ), representativas das camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Após o preparo das amostras contidas nos anéis volumétricos, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água por um período de 48 h, até que os poros estivessem completamente preenchidos. Posteriormente, a massa das amostras de solo foram determinadas com o auxílio de uma balança de precisão, e levadas para a mesa de tensão, onde foram submetidas à tensão de -6 kPa, conforme descrito em Teixeira et al. (2017). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total do solo e a microporosidade.

Quando as amostras de solo atingiram o equilíbrio na tensão de -6 kPa, foi determinada a resistência do solo à penetração, por meio de um penetrógrafo eletrônico de bancada, com uma velocidade constante de penetração de  $1 \text{ cm min}^{-1}$ , com a ponta cônica e semiângulo de  $30^\circ$ . Em seguida, as amostras foram encaminhadas à estufa, a fim de determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico.

### 3.6 Características e componentes de produtividade da cultura da soja

Aos 21 dias após a semeadura, foi determinado o estande de plântulas em cada tratamento, contando aquelas emergidas em 2 metros, com três repetições por unidade experimental.

Para determinar o crescimento da cultura e a produção, quando as plantas atingiram a fase de maturação fisiológica (R7), determinou-se na base do caule de dez plantas aleatórias dentro de cada unidade experimental, o diâmetro do caule com o auxílio de um paquímetro digital (KIRNAK et al., 2016), e com uma régua graduada, determinou-se a altura de plantas.

Aos 138 dias após a emergência, quando a cultura atingiu a fase de maturação fisiológica, determinou-se, inicialmente, o estande final, e posteriormente, procedeu-se com a colheita manual das plantas, determinando-se o estande final e o número de vagens por planta (NVP) em 10 plantas; bem como a massa de mil grãos

(MMG – g) tomando-se duas amostras, conforme descrito em Valadão et al. (2017). O número de grãos por vagens foi determinado debulhando todas as vagens e contando todos os grãos presentes em cada uma das 10 plantas coletadas. O cálculo para a determinação da produtividade foi estimado por hectare (Prod, kg ha<sup>-1</sup>).

### **3.7 Análises estatísticas**

Os dados dos atributos do solo e dos componentes de produção foram submetidos à análise de variância. Quando significativo o teste F, utilizou-se o teste de Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade, para comparar as médias dos dados obtidos nos dois sistemas de preparo do solo, e análise de regressão para avaliar os níveis de compactação.

Para analisar a relação existente entre os atributos do solo e o as características de crescimento e produção da soja foi usado correlação de Pearson, a 5% de probabilidade. Havendo correlação significativa entre variáveis, aplicou-se a análise de regressão polinomial de melhor ajuste.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de variância dos dados do solo

Analisando os valores do teste F para os atributos físicos do solo, observou-se que a macroporosidade do solo (Quadro 3) foi influenciada pelo número de passagens do trator, isoladamente, e pela interação entre os fatores de variação, na camada de 0,00 - 0,10 m. No entanto, a microporosidade não teve efeito dos fatores avaliados, em ambas as camadas.

A porosidade total, na camada de 0,10-0,20 m, foi influenciada de forma significativa (Quadro 3) pela interação entre o preparo do solo e número de passagens do trator.

Streck et al. (2004) relatam que, ao aumentar o estado de compactação do solo, ocorre redução da porosidade total e macroporosidade sem aumento na microporosidade, fato que possivelmente explica a resposta observada no presente trabalho. As respostas obtidas neste estudo são corroboradas por Secco et al. (2004), Collares et al. (2006), Freddi et al. (2007) e Bergamin et al. (2010). Salienta-se que os macroporos possuem menor resistência à deformação em relação aos microporos, sendo, portanto, mais suscetíveis as alterações ocasionadas pelo tráfego de maquinário (BERGAMIN et al., 2010; VALADÃO et al., 2015).

Os resultados observados condizem com os relatados por Zalamena et al. (2008), sendo o preparo convencional do solo responsável direto pela diminuição da macroporosidade em todas as camadas, resultado coerente com a quebra dos agregados pelo intenso uso de equipamentos agrícolas. Respostas obtidas por Machado et al. (1981) também confirma as apresentadas neste estudo, onde o sistema convencional proporcionou as maiores modificações negativas na macroporosidade e porosidade total.

Santos et al. (2008) citam que o sucesso de sistemas conservacionistas de manejo do solo se deve ao fato de que a palhada acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens e resíduos vegetais de culturas comerciais, proporciona um ambiente favorável à recuperação ou manutenção das propriedades do solo.

Para a densidade do solo (Quadro 3), apenas o número de passagens do trator apresentou resultado significativo, na camada de 0,10-0,20 m, enquanto não houve diferença entre as densidades na camada superficial. Menor densidade na camada superficial também foi observada por Genro Junior et al. (2004) em Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso. As menores densidades observadas na camada mais

superficial podem estar relacionadas à maior densidade de raízes da própria cultura utilizada, conforme observado por Reinert et al. (2008). De acordo com Salire et al. (1994), a compactação em superfície é função da pressão de inflação dos pneus. Isso explicita o efeito deletério do tráfego de máquinas sobre o solo.

QUADRO 3. Valores do teste F dos atributos físicos do solo em função dos sistemas de preparo do solo (SPS) e número de passagens do trator (NPT), para as duas camadas amostradas

Fatores de variação	0,00-0,10 m				
	Porosidade			Densidade	RP
	Macro	Micro	Total		
SPS	1,88 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	2,76 <sup>ns</sup>
NPT	4,32 <sup>**</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>*</sup>
SPS x NPT	4,02 <sup>*</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	4,12 <sup>*</sup>
CV (SPS)	26,13	19,09	7,10	9,56	50,59
CV (NPT)	23,44	22,81	17,85	11,84	60,77
0,10-0,20 m					
SPS	4,45 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	11,47 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	4,32 <sup>ns</sup>
NPT	1,08 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	3,47 <sup>*</sup>	5,47 <sup>**</sup>	1,22 <sup>ns</sup>
SPS x NPT	0,16 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	4,41 <sup>*</sup>
CV (SPS)	30,00	7,61	3,78	3,28	46,94
CV (NPT)	28,98	8,16	5,95	6,59	37,59

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste SNK. <sup>ns</sup>: não significativo (P<0,05); <sup>\*</sup>: significativo (P<0,05); <sup>\*\*</sup>: significativo (P<0,01); CV: coeficiente de variação (%).

Para a resistência do solo à penetração foi observada interação significativa entre os dois fatores de variação, em ambas as camadas de solo avaliadas (Quadro 3). Tais resultados condizem com aqueles obtidos por Streck et al. (2004), que verificaram que a resistência à penetração é sensível ao tráfego de máquinas aplicado.

#### 4.2 Atributos físicos do solo

A densidade do solo (Quadro 4) foi semelhante nos dois sistemas de preparo do solo nas duas camadas, no entanto houve efeito da compactação do solo na camada de 0,10-0,20 m, onde seus valores aumentaram até 5 passagens do trator e a partir de 6 passagens a tendência foi de manter a densidade em 1,45 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 2). Os resultados apresentados nesse trabalho estão de acordo com os obtidos por Arcoverde et al. (2020), que verificaram aumento na densidade do solo em função do tráfego de máquinas, encontrando médias para a densidade do solo entre 1,36 e 1,50 Mg m<sup>-3</sup>, também trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférico. Também é importante destacar que a Ds é pouco sensível aos efeitos do tráfego, de modo que, em alguns casos,

a pressão exercida pelo maquinário seja incapaz de modificá-la (SAVIOLI et al., 2020; SCHÄFFER et al., 2007). Silva et al. (2003) afirmam que a densidade do solo é fortemente dependente do manejo, entretanto, o efeito sobre tal variável foi observado apenas pelo tráfego de máquinas, não diferindo entre plantio direto e preparo convencional.

QUADRO 4. Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) em função dos sistemas de preparo do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m

Sistemas de preparo do solo	Camadas de solo (m)	
	0,00-0,10	0,10-0,20
Plantio direto	1,34 a	1,41 a
Preparo convencional	1,35 a	1,42 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste SNK, a 5% de probabilidade.

Assim, é importante ressaltar que os valores médios de densidade obtidos nos sistemas de preparo do solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m estão abaixo da faixa de 1,51 a 1,59  $\text{Mg m}^{-3}$  considerados críticos por Sá et al. (2016) e Oliveira et al. (2012), ao avaliarem a compactação em Latossolos de textura argilosa a muito argilosa. Camargo e Alleoni (1997) consideraram crítico o valor de 1,55  $\text{Mg m}^{-3}$  em solos franco-argilosos a argilosos.

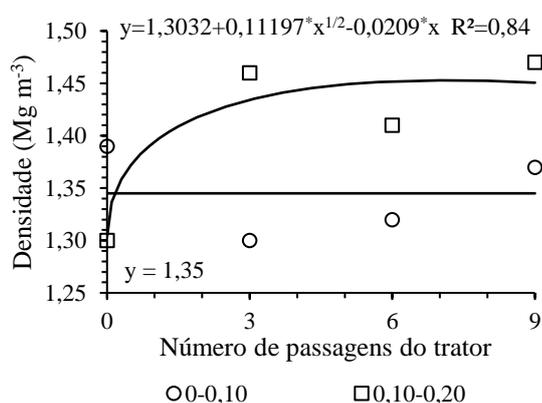


FIGURA 2. Densidade do solo em função do número de passagens do trator, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

Para a resistência do solo à penetração (Figura 3) houve efeito significativo da compactação do solo, entretanto, na camada de 0,00-0,10 m, sendo este crescente conforme o aumento do número de passagens do trator. Esta resposta está de acordo

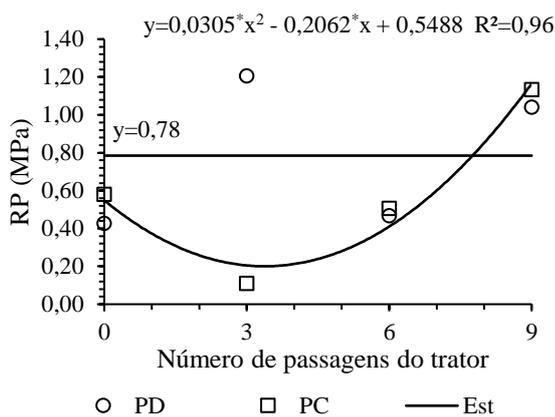
com a obtida por Valadão et al. (2015), demonstrando que o tráfego intenso de máquinas no solo aumentou sua densidade e resistência à penetração, refletindo também negativamente em sua macroporosidade.

Na profundidade de 0,00-0,10 m, a resistência do solo à penetração comportou-se de maneira distinta para os sistemas de preparos, havendo constância dos seus valores no plantio direto (0,79 MPa), enquanto em preparo convencional observou-se aumento quadrático de seus valores a partir de 4 passagens do trator (Figura 3). Apesar deste aumento, os valores superaram os observados para o plantio direto somente após 7 passagens. Tal resultado pode ser explicado por Carvalho Júnior et al. (1998), os quais afirmam que a maior resistência mecânica do solo à penetração deve-se ao não revolvimento do solo, que ano após ano vem acumulando pressões pelo tráfego de máquinas e, ainda, pela acomodação natural das partículas.

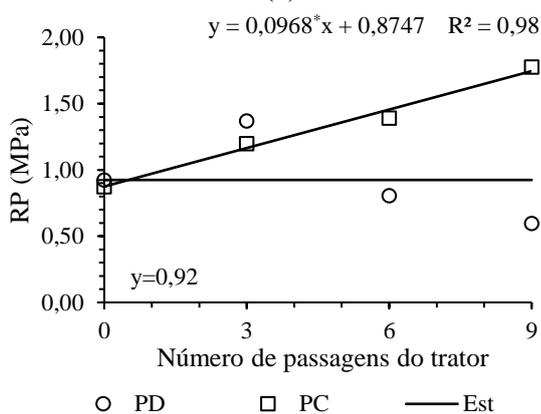
Na camada de 0,10-0,20 m, houve crescimento linear da resistência do solo com aumento das passagens do trator, quando o preparo convencional foi usado, com os maiores valores sendo observados nos níveis mais altos de compactação (Figura 3). De acordo com Arcoverde et al. (2019), o sistema de preparo convencional aliado ao tráfego de máquinas durante o ciclo de produção tem ocasionado estados de compactação do solo e, conseqüentemente, aumento da resistência à penetração.

Para o plantio direto foi observada tendência de manter uma resistência média de 0,92 MPa, para até 9 passagens do trator. Ademais, segundo Barreto et al. (2009), no plantio direto é menor a decomposição da cobertura vegetal, acumulando a matéria orgânica e aumentando o teor de C orgânico total, o qual estabiliza a estrutura do solo, pelo efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados, o que pode explicar os resultados de constância para a resistência à penetração.

Medeiros et al. (2005) afirmam que o alongamento radicular só é possível quando a resistência à penetração do solo for menor do que a pressão de crescimento das raízes. Mas, apesar das tendências crescentes exibidas, os valores de resistência à penetração obtidas neste estudo ainda se encontram abaixo da faixa entre 3,0 e 4,0 MPa, a qual é considerada crítica por Betioli Júnior et al. (2012) e Guimarães et al. (2013).



(a)



(b)

\* Significativo a 5%, pelo teste t.

FIGURA 3. Resistência do solo à penetração (RP) em função do número de passagens do trator, para o plantio direto (PD) e o preparo convencional (PC), nas camadas de 0-0,10 (a) e 0,10-0,20 m (b).

A macroporosidade do solo foi semelhante entre os sistemas de preparo, na camada de 0,00-0,10 m, por outro lado, na camada 0,10-0,20 m, o plantio direto proporcionou maior valor (Quadro 5). Devido ao preparo convencional, ou seja, à ação dos discos da grade, estes imprimiram pressão ao solo, na camada subsuperficial, compactando-o e, como consequência, houve diminuição dos macroporos no referido tratamento. O alongamento radicular também é favorecido quando há maior quantidade de macroporos, isto é, em solos com estrutura física satisfatória, ou ainda em áreas com alto teor de umidade (GARCIA, 2021).

Diversos autores estabelecem como  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  o valor crítico de macroporosidade ao crescimento das plantas, ou seja, muito próximo ao obtido para o tratamento de preparo convencional (BERTACCHI et al., 2012).

QUADRO 5. Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em função dos sistemas de preparo do solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m

Sistemas de preparo do solo	Camadas de solo (m)	
	0,00-0,10	0,10-0,20
Plantio direto	0,20 a	0,17 a
Preparo convencional	0,23 a	0,14 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK, a 5% de probabilidade.

Na camada de 0-0,10 m, houve redução da macroporosidade no preparo convencional com o aumento de passagens dos rodados do trator, enquanto a média de macroporosidade no plantio direto foi de  $0,20 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  (Figura 4). Pode-se inferir a ocorrência de mobilização superficial do solo o qual favoreceu, inicialmente, a aproximação das partículas em razão do aumento do tráfego, reduzindo a macroporosidade a partir de 6 passagens do trator. Isso não ocorreu no plantio direto, em razão da melhor estruturação do solo e de sua continuidade frente ao carregamento do solo. O resultado obtido está de acordo com as observações de Wiermann et al. (1999), os quais afirmam que, sob várias passagens, a compactação seria severa em horizontes próximos à superfície do solo, afetando, portanto, a camada de 0,00-0,10 m. Além disso, Botta et al. (2007) examinaram a resposta penetrante de raízes em solos com alta densidade aparente e compactação referida como uma causa de redução na porosidade do solo.

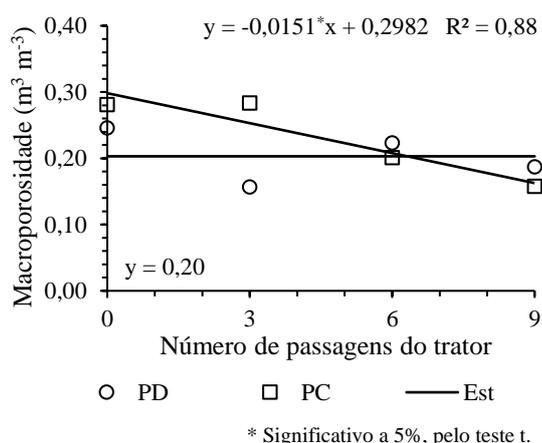


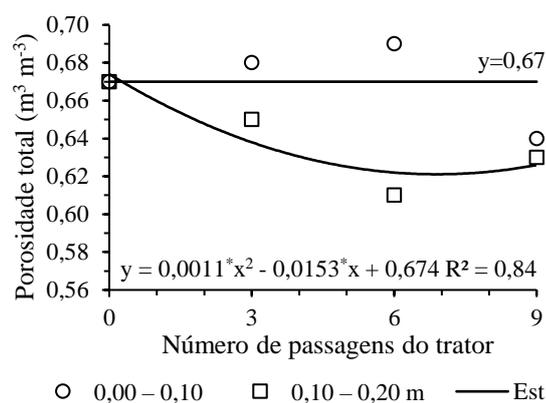
FIGURA 4. Macroporosidade do solo submetido ao sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) em função do número de passagens do trator, na camada de 0,00-0,10 m.

Assim como a macroporosidade (Quadro 5), a porosidade total (Quadro 6) sofreu influência significativa dos sistemas de preparo do solo apenas na camada de 0,10-0,20 m, não sendo afetada na camada superficial. A partir de tais respostas, é possível inferir que a macroporosidade influenciou diretamente o resultado obtido para a porosidade total e, adicionalmente, para a microporosidade não houve efeito dos tratamentos. Na camada de 0,10-0,20 m, a mínima porosidade foi obtida com 7 passagens do trator, quando para maiores passagens a tendência foi de estabilização (Figura 5). De acordo com Dedecek e Gava (2005), solos argilosos, característica inerente ao utilizado no estudo, tendem a ser compactados facilmente, diminuindo sua porosidade e podendo formar camadas compactadas. Ademais, os pneus usualmente utilizados nos tratores e colhedoras comercializadas no Brasil possuem a parte lateral rígida, sendo chamados de pneus de banda diagonal. Tal característica impede que o pneu se molde no solo de acordo com as irregularidades do terreno e, por conseguinte, sua área de contato fica reduzida aumentando a pressão na superfície do solo (COUTO et al., 2013; SILVA et al., 2000).

QUADRO 6. Porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) nos dois sistemas de preparo do solo e duas camadas de amostragem

Sistema de preparo do solo	Camadas de solo (m)	
	0,00-0,10	0,10-0,20
Plantio Direto	0,67 a	0,66 a
Preparo Convencional	0,68 a	0,63 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de SNK, a 5% de probabilidade.



\* Significativo a 5%, pelo teste t.

FIGURA 5. Porosidade total do solo em função do número de passagens do trator, para as duas camadas.

De maneira esperada, a média mais baixa de porosidade total está em concordância com o maior valor obtido para a densidade do solo (Quadro 4), o qual foi igualmente apresentado pela camada mais profunda de solo. Benedetti et al. (2010), ao estudarem um latossolo vermelho distrófico típico, sob diferentes usos, concluíram que as diferentes formas de manejo do solo promoveram alterações em suas características físicas, onde nos ambientes sob plantio convencional, houve redução na macroporosidade e elevação dos valores de densidade do solo. Inclusive, Pereira et al. (2010) ao verificarem alta correlação negativa entre densidade do solo e porosidade total, em um Latossolo Vermelho Distrófico, denominaram o evento de degradação estrutural.

A microporosidade não foi afetada em nenhum dos tratamentos, de forma isolada (Quadro 7) ou da interação (Quadro 3). É importante ressaltar que tal atributo é altamente influenciado pelo teor de argila. Considerando-se que o solo utilizado no presente trabalho possui como característica um alto teor de argila, possivelmente, ocorreu a manutenção da microporosidade nos tratamentos instaurados. A fração argila é a principal responsável pela retenção de água nos solos, devido à elevada área superficial específica de suas partículas com predominância de microporos e superfície de adsorção (BRADY e WEIL, 2013; SOUZA et al., 2019). E, ainda, de acordo com Klein e Klein (2015), a fração argilosa reflete em maior microporosidade e, conseqüentemente, maior capacidade de retenção de água no solo. Ademais, a compactação provocada pelo uso agrícola normalmente ocasiona uma drástica redução na macroporosidade, enquanto o volume dos microporos pode permanecer estável (KUNCORO et al., 2014).

QUADRO 7. Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em função dos sistemas de preparo do solo e número de passados do trator

Fatores	Camadas de solo (m)	
	0,00-0,10	0,10-0,20
Sistema de preparo do solo		
Plantio direto	46,61 a	48,13 a
Preparo convencional	44,69 a	48,75 a
Número de passagens do trator		
0	40,77 a	49,32 a
3	47,53 a	50,45 a
6	47,52 a	47,17 a
9	46,78 a	46,81 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de SNK, a 5% de probabilidade.

### 4.3 Análise de variância de produção e sua correlação com atributos físicos

A altura de planta foi diferente para cada sistema de preparo do solo, enquanto o estande inicial, o estande final e o diâmetro do caule foi influenciado pelo número de passagem do trator (Quadro 8). Os componentes de produção (NVP, NGV e MMG) não foram influenciados pelas passagens dentro de cada sistema de preparo. Esse fato pode ser explicado, por tais características estarem mais ligadas ao genótipo do que o ambiente de produção. No entanto, mesmo a produtividade não tendo sido influenciada no experimento original, como seus valores são expressão do ambiente de produção, e por ter havido efeito dos tratamentos sobre os atributos físicos, optou-se por realizar uma análise de correlação para avaliar interação entre a produção e os atributos.

QUADRO 8. Valores do teste F do estande inicial (EI) e final (EF), altura de planta (A), diâmetro de caule (D), nº de vagem por planta (NVP), nº de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade da soja (Prod) para sistemas de preparo (SPS) e número de passados do trator (NPT)

FV	EI	EF	A	D	NVP	NGV	MMG	Prod
SPS	0,15	0,00	5,77**	3,89	2,14	0,02	0,21	0,77
NPT	3,84**	4,03**	2,04	6,24**	1,02	0,64	2,47	0,94
SPS x NPT	0,99	0,52	0,79	1,06	0,70	1,01	0,59	1,00
CV	17,15	28,5	10,2	7,85	35,6	7,13	7,68	58,3

\*\* : significativo ( $P < 0,01$ ); CV: coeficiente de variação (%).

De acordo com a análise de correlação de Pearson (Quadro 9), alguns dos componentes de produção e produtividade do solo se correlacionaram-se significativamente com os atributos físicos. Resultados semelhantes foram obtidos por Mioto et al. (2020).

O estande inicial de plântulas tem correlação direta positiva com a macroporosidade, nos dois sistemas de preparo na camada de 0,10-0,20 m, enquanto o estande final teve correlação positiva com a macroporosidade da camada superficial do solo, no preparo convencional. Para esta variável, também foi observada correlação negativa com a resistência à penetração, para o mesmo tipo de preparo anteriormente citado, tanto na camada superficial quanto na subsuperficial.

QUADRO 9. Matriz de correlação dos atributos físicos do solo, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, com os componentes de produção determinados nas áreas manejadas

Componentes de produção	Atributos físicos do solo	Plantio Direto		Preparo Convencional	
		0-10	10-20	0-10	10-20
EI	Mac	0,066	0,358*	0,103	0,454*
EI	Mic	0,146	0,263	-0,343	-0,236
EI	Pot	0,186	0,573*	-0,287	0,273
EI	Ds	-0,237	0,052	0,367*	-0,499*
EI	Rp	-0,465*	-0,251	-0,072	-0,075
EF	Mac	-0,121	-0,035	0,645*	0,327
EF	Mic	0,112	0,278	0,123	0,213
EF	Pot	-0,042	0,151	0,468*	0,683*
EF	Ds	0,010	0,026	-0,385	-0,368
EF	Rp	-0,346	0,100	-0,542*	-0,757*
A	Mac	0,332	0,354	0,183	0,007
A	Mic	-0,031	-0,190	-0,167	0,157
A	Pot	0,332	0,261	-0,069	0,208
A	Ds	-0,358	-0,370	-0,099	-0,129
A	Rp	-0,163	-0,438*	0,305	0,274
D	Mac	-0,455*	0,238	0,030	-0,245
D	Mic	0,125	-0,119	-0,129	0,237
D	Pot	-0,392	0,181	-0,113	-0,007
D	Ds	0,474*	0,290	-0,070	0,182
D	Rp	0,456*	-0,312	0,078	0,167
NVP	Mac	-0,078	0,048	0,185	0,113
NVP	Mic	0,020	0,169	0,030	-0,159
NVP	Pot	-0,068	0,167	0,129	-0,059
NVP	Ds	0,016	0,161	-0,327	0,154
NVP	Rp	-0,196	-0,005	-0,528*	-0,147
NGV	Mac	0,179	0,197	-0,420	0,228
NGV	Mic	0,264	-0,007	0,459*	-0,367
NGV	Pot	0,400*	0,213	0,233	-0,178
NGV	Ds	-0,388*	-0,184	-0,112	0,074
NGV	Rp	-0,161	-0,188	0,215	0,122
MMG	Mac	0,323	-0,284	-0,319	0,451*
MMG	Mic	0,019	0,109	-0,023	-0,619*
MMG	Pot	0,362*	-0,239	-0,194	-0,218
MMG	Ds	-0,052	-0,061	0,374	-0,187
MMG	Rp	-0,204	0,218	0,318	-0,015
Prod	Mac	-0,081	-0,026	0,239	0,328
Prod	Mic	0,060	0,364	0,146	-0,209
Prod	Pot	-0,040	0,218	0,274	0,148
Prod	Ds	-0,036	0,083	-0,310	-0,055
Prod	Rp	-0,374*	0,049	-0,517*	-0,380*

EI-estande inicial, EF-estande final, A-altura de planta, D-diâmetro de caule, NVP-número de vagem por planta, NGV-número de grãos por vagem, MMG-massa de mil grãos, Prod-produtividade da soja, Mac-macroporosidade, Mic-microporosidade, Pot-Porosidade total, Ds-densidade, Rp-resistência à penetração.

\* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

A altura de plantas e o diâmetro do caule não apresentaram correlação com os atributos físicos do solo quando submetido ao preparo convencional, por outro lado, sob plantio direto houve redução da altura com aumento da resistência à penetração. O diâmetro do caule da planta tem correlação positiva com o aumento da densidade e da resistência do solo, enquanto, como esperado, correlação negativa com a macroporosidade. Cortez et al. (2020) obtiveram respostas semelhantes, observando correlação positiva entre o diâmetro caulinar e a elevação da densidade de plantas de milho.

O número de vagens por planta tem correlação negativa com a resistência do solo à penetração no preparo convencional na camada de 0-0,10 m. O número de grãos por vagem apresenta correlação positiva com a microporosidade no preparo convencional, e com a porosidade total e negativa com a densidade no plantio direto, na camada de 0-0,10 m.

Na camada superficial do solo, sob plantio direto, houve correlação direta positiva entre a massa de mil grãos e a porosidade do solo, enquanto no preparo convencional foi na camada subsuperficial que a massa de mil grãos aumentaram com a porosidade e reduziu com o aumento dos microporos.

A produtividade da cultura teve correlação negativa com o aumento da resistência do solo à penetração quando manejado sob preparo convencional, enquanto sob plantio direto a produtividade se correlacionou negativamente com o aumento da resistência do solo, sendo ambas na camada superficial.

Tais respostas estão diretamente ligadas à grande plasticidade morfológica apresentada pelas plantas de soja (MUNDSTOCK e THOMAS, 2005). Devido a essa plasticidade, a soja apresenta capacidade de adaptação às diferentes condições ambientais e de manejo, por meio de modificações morfológicas, da arquitetura e dos componentes do rendimento.

Essas modificações podem estar relacionadas com a fertilidade do solo, população de plantas e espaçamento entrelinhas (PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2003). Endres (1996) também justifica tais relações, citando que o maior acúmulo de plantas em alguns pontos da lavoura, pode provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menos ramificadas, com menor produção individual, diâmetro de haste reduzido.

Esta resposta também é amplamente esclarecida na literatura pois, geralmente, quanto maior for a densidade de um solo, maior será sua RP e menor será sua macroporosidade, sendo este último atributo considerado o principal espaço para o

crescimento das raízes, podendo comprometer a produtividade da cultura (CAMARGO e ALLEONI, 1997; ARAUJO et al., 2004).

As plantas, em resposta à compactação do solo, apresentam alterações na profundidade, ramificação e distribuição das raízes (ROSOLEM et al., 2002), comprometendo a eficiência do uso de nutrientes e de água e limitando a produtividade da cultura (ALAKUKKU e ELOMEN, 1994), portanto, quanto maior a compactação, maior sua resistência à penetração e, conseqüentemente, mais efeitos deletérios sobre a produtividade das culturas.

Cada teste de correlação apresenta um coeficiente individualizado, demandando interpretação própria. De forma geral, para os coeficientes  $r$  de Pearson os valores entre 0 e 0,3 (ou 0 e -0,3) são biologicamente desprezíveis; entre 0,31 e 0,5 (ou -0,31 e -0,5) são correlações fracas; entre 0,51 e 0,7 (ou -0,51 e -0,7) são moderadas; entre 0,71 e 0,9 (ou -0,71 e 0,9) são correlações fortes; e  $> 0,9$  (ou  $< -0,9$ ) são consideradas muito fortes (MUKAKA, 2012). Apesar de algumas correlações obtidas no presente trabalho serem consideradas fracas, tal análise constitui importante ferramenta pois, a partir destes resultados, é possível investigar a associação entre o comportamento de grupos de variáveis, favorecendo a elaboração de modelos hipotéticos que devem ser confirmados posteriormente por meio de experimentos dedicados (MIOT, 2018). Além disso, o coeficiente de correlação de Pearson representa medidas amplamente utilizadas para determinar dependências entre dados, sendo aplicado nas mais diversas áreas de pesquisa, constituindo, importante instrumento de estudo (ABOUNAIMA et al., 2020).

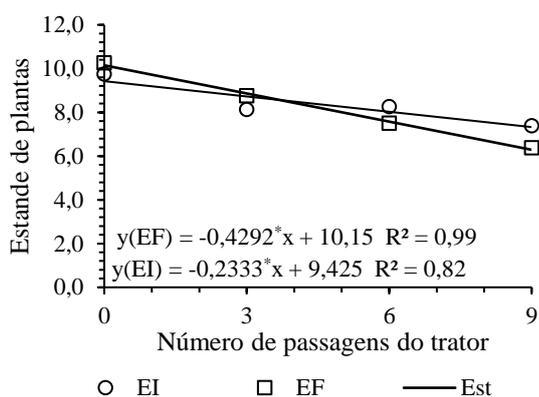
#### **4.4 Desempenho agrônômico com atributos físicos do solo**

As plantas cultivadas em plantio direto tiveram maior altura do que aquelas cultivadas em preparo convencional (Quadro 10). Houve redução do estande de plantas quando foi aumentado o número de passagens do trator (Figura 6), indicando que o aumento do nível de compactação dificulta o estabelecimento da cultura, e também pode provocar redução do estande final, ocasionado principalmente pela diminuição da oferta de água em solos mais compactados. Embora tenha havido significância no teste F (Quadro 8), não houve modelo que se ajustasse aos dados de diâmetro do caule.

QUADRO 10. Médias dos estantes inicial (EI) e final (EF), altura de planta (A), diâmetro de caule (D), número de vagens por plantas (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade da soja (Prod) em função dos sistemas de preparo do solo

SPS	EI	EF	A	D	NVP	NGV	MMG	Prod
PD	8,56 a	8,19 a	0,82 a	10,38 a	74,9 a	2,71 a	0,155 a	4.401,1 a
PC	8,19 a	8,25 a	0,79 b	10,61 a	85,8 a	2,73 a	0,156 a	5.369,8 a

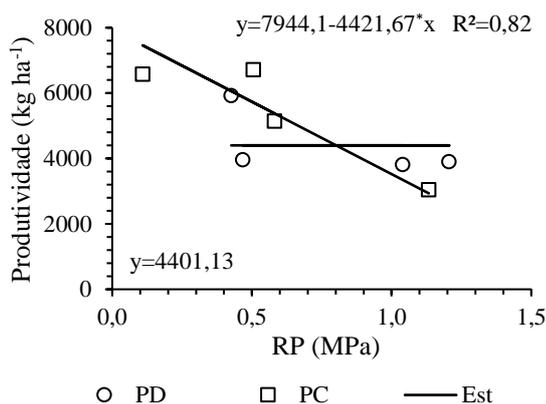
Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ ); PC: Preparo convencional; PD: Plantio direto.



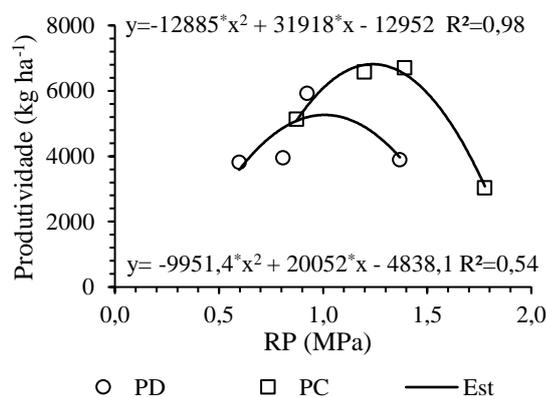
\* Significativo a 5%, pelo teste t.

FIGURA 6. Estantes inicial (EI) e final (EF) de plantas em função do número de passagens do trator.

A produtividade da soja foi reduzida linearmente com aumento da resistência do solo à penetração no preparo convencional, enquanto não foi afetada pela resistência à penetração no plantio direto, na camada de 0,0-0,10 m (Figura 7A). Analisando os dados amostrados na camada de 0,10-0,20 m (Figura 7B), a produtividade obtida nos dois sistemas apresentou comportamento quadrático com o aumento da resistência do solo, com máxima produtividade alcançada com 1,0 e 1,2 MPa, para o plantio direto e preparo convencional, respectivamente.



(A)



(B)

\* Significativo a 5%, pelo teste t.

FIGURA 7. Produtividade da soja em função da resistência do solo à penetração (RP) na camada de 0-0,10 (A) e 0,10-0,20 m (B), em sistemas de preparo de solo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Dourados - MS, 2019.

Anteriormente, Cardoso et al. (2006) em trabalho realizado sobre um Latossolo concluíram que em grau moderado de compactação induzido pelo tráfego de máquinas, associado a satisfatória disponibilidade hídrica às plantas não ocasionou decréscimo na produtividade da cultura da soja. Entretanto, de acordo com Valicheski et al. (2012), no cultivo da referida espécie, frequentemente são relatados problemas de compactação nas camadas superficial/subsuperficial do solo, resultando em decréscimo na produtividade. Tal adversidade está diretamente relacionada ao fato de esta cultura ser praticamente toda mecanizada. Em estudo realizado por Beutler et al. (2007), plantas de soja também apresentaram queda na produtividade em decorrência do aumento da resistência do solo à penetração ocasionada pelo tráfego de maquinário. Vale ressaltar que, durante o tráfego, o peso do maquinário é transferido para o solo e, especialmente em condições inadequadas de umidade, ocorrerão modificações em sua estrutura,

compactando a área (GIRARDELLO et al., 2014). Assim, as plantas cultivadas nesses ambientes apresentam redução do porte e, em última instância, decréscimo na produtividade (BEUTLER e CENTURION, 2003).

Para Brown et al. (2018) e Campos et al. (2018), a avaliação da qualidade física dos solos em relação ao seu manejo é essencial devido às interferências na produtividade das culturas e sustentabilidade dos ecossistemas ligados ao solo (GUEDES et al., 2012). A resistência à penetração (KAZMIERCZAK, 2018), dada pela força oferecida pelo solo à penetração de um cone metálico, simula a resistência do mesmo ao crescimento do sistema radicular (SILVA FILHO et al., 2016). Analisados integradamente, os resultados de resistência, densidade e porosidades demonstram, aparentemente, que a RP parece ser mais sensível na detecção da compactação do que a Ds e porosidades, especialmente para camadas pouco espessas, as quais caracterizam melhor a variação em propriedades mecânicas do solo (ABREU et al., 2004). Esses resultados estão de acordo com os de Voorhees (1983), ao afirmar que a densidade do solo não é o fator mais limitante ao crescimento radicular, mas, sim, a resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes, determinada por um penetrômetro.

Níveis mais elevados de compactação também estão ligados à redução da aeração do solo, o aumento da resistência à penetração, o que por sua vez diminui o crescimento radicular (REICHERT et al., 2009; SUZUKI et al., 2013). Tal redução na densidade de raízes compromete o desenvolvimento das culturas em função da baixa absorção de água e nutrientes pelas plantas (TORMENA et al., 1998), promovendo efeitos deletérios sobre o resultado de produtividade.

De acordo com Arshad et al. (1996) e Suzuki et al. (2007), valores de resistência à penetração na faixa de 2,0 a 4,0 MPa são propostos como críticos ao crescimento radicular de culturas anuais, sendo seu efeito mais prejudicial quando o solo se encontra com baixa umidade (TAVARES FILHO e TESSIER, 1998). A tendência obtida para o preparo convencional, na camada de 0,10-0,20 m de solo, indica produtividade em queda conforme a resistência à penetração aproxima-se de 2 MPa. Aliado a isto, durante a condução do experimento, o qual foi realizado em campo experimental aberto, ocorreram períodos de baixa pluviosidade, reduzindo ainda mais a água disponível à absorção.

Os macroporos são responsáveis pelas trocas gasosas e, valores inferiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , estão associados a limitações nas trocas gasosas entre solo e raízes (KAISER et al., 2008). Através dos dados obtidos de macroporosidade (Quadro 5 e

Figura 4), é possível observar que os valores obtidos para os dois sistemas de preparo apresentaram médias superiores ao referido valor crítico, refletindo, portanto, em boa produtividade. Assim, pode ter havido disponibilidade de oxigênio, importante elemento no processo de nodulação da soja (KUZMA et al., 1999), favorecendo a fixação simbiótica de nitrogênio e, conseqüentemente, mantendo a produtividade próxima a esperada para a cultivar.

No plantio direto, pela mobilização mínima do solo, é comum ocorrer aumento na densidade do solo (SILVA et al., 2000; SECCO et al., 2004), porém esse adensamento é, muitas vezes, contrabalançado pelo aumento do teor de matéria orgânica (BAYER et al., 2002; LOVATO et al., 2004), da atividade biológica (CIVIDANES, 2002) e da agregação (CAMPOS et al., 1995; WENDLING et al., 2005), resultando em melhores condições químicas e físicas do solo (ALBUQUERQUE et al., 2005). Todos esses fatores e suas interações podem ter provocado o nivelamento da produtividade, não sendo observado um comportamento de seus valores com aumento da produtividade.

Em sistemas como o plantio direto (12 anos), em que se tem aporte de resíduo no solo, ocorre aumento do carbono orgânico total, podendo interferir na redução da densidade do solo e no aumento da porosidade total, macro e microporosidade, na camada superficial (MARCOLAN e ANGHINONI 2006). Este efeito, entretanto, foi mais perceptível na camada mais inferior analisada.

Segundo Viana et al. (2011), a microporosidade do solo é influenciada, principalmente, pelo material de origem e pelos processos de formação do solo, entretanto, o aumento da densidade do solo, e o conseqüente aumento da compactação do solo, pode reduzir a proporção de macroporos e elevar a de microporos.

A porosidade total constitui importante propriedade física do solo, sendo associada ao desenvolvimento radicular e a infiltração de água e nitratos (KAKABOUKI et al., 2019).

Peixoto et al. (2019) encontraram maior variação nas propriedades físicas no extrato superior do solo, significando, portanto, que esta é a zona mais atingida pelo manejo do solo e de culturas (tráfego de rodas para plantio, fertilização e colheita, subsolagem e práticas de escarificação) e, portanto, afetam a compactação do solo (NUNES et al., 2015).

## 5. CONCLUSÕES

O aumento do nível de compactação do solo propicia aumento da densidade, reduções da macroporosidade e porosidade total na profundidade subsuperficial do solo, principalmente na área com preparo convencional.

O crescimento, os componentes de produção e a produtividade da soja não são influenciados pelos sistemas de preparo do solo, enquanto ao aumentar o nível de compactação reduz a produtividade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUNAIMA, M. C. et al. The pearson correlation coefficient applied to compare multi-criteria methods: case the ranking problematic. In: 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET), **Anais...**, IEEE, 2020. p. 1-6.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ALAKUKKU, L.; ELONEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, v. 36, n. 3-4, p. 141-152, 1995.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 963-975, 2005.
- AQUINO, R. E. et al. Geostatistics in assessment of physical properties in a Latossolo (oxisol) under native forest and grassland in Manicoré, Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; DA SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.
- ARCOVERDE, S. N. S. et al. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 6, n.1, p. 41-47, 2019.
- ARCOVERDE, S.N.S.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. et al. Soybean agronomic performance and soil physical attributes under tractor traffic intensities. **Engenharia Agrícola**, v.40, p.113-120, 2020.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. **Methods for assessing soil quality**, v. 49, p. 123-141, 1997.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 132, n. 3-4, p. 243-251, 2009.
- BARROS, J.C. **Qualidade física do solo sob diferentes usos**. 2020. 50f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde-GO
- BAYER, C.; DICK, D. P.; RIBEIRO, G. M. et al. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 401-406, 2002.

BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JÚNIOR, H. B. et al. Resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. 1-9, 2010.

BENGOUGH, A. Glyn et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

BERGAMIN, A. C. et al. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 299-305, 2010.

BERTACCHI, M. I. F. et al. Caracterização das condições de microssítio de áreas em restauração com diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 895-906, 2012.

BETIOLI JÚNIOR, E. et al. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971-982, 2012.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.787-794, 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p. 1223-1232, 2007.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 849-856, 2003.

BLUM, J. et al. Assessment of soil physical attributes at sowing row and inter-row under no-till system. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.5, p.888-895, 2014.

BORGES, M. et al. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em diferentes sistemas de preparo após consórcio sorgo-brachiaria. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2020.

BOTTA, G. F. et al. Traffic alternatives for harvesting soybean (*Glycine max L.*): Effect on yields and soil under a direct sowing system. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 145-154, 2007.

BRADY, N. C.; WEILL, R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3a ed. **Bookman. Porto Alegre, Brasil**, 2013.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I. et al. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 13, n. 1, p1-7, 2018.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 132 p. 1997.

CAMPOS, B. C. et al. Structural stability of a dystrophic red-dark latosol after seven years of crop rotation and soil management systems. **Brazilian Journal of Soil Science**, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CAMPOS, S. A.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. et al. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Revista Agrarian**, v.11, n. 41, p. 230-240, 2018.

CARDOSO, E. G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 505-514, 1998.

CIVIDANES, F. J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 15-23, 2002.

COLLARES, G. L. et al. Soil physical quality on black beans yield in an Alfisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos: Safra 2020/21**, v. 8, n. 1, Brasília, p. 1-77, 2021.

CORTEZ, J.W.; ANGHINONI, M.; ARCOVERDE, S.N.S. Seed metering mechanisms and tractor-seeder forward speed on corn agronomic components. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 61-68, 2020.

COUTO, R. F. et al. Compactação e recalque superficial de um Latossolo Vermelho em condição de campo e laboratório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1239-1245, 2013.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012.

DE MARIA, I.C.; CASTRO O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

DERPSCH, R.; ROTH, C.; SIDIRAS, N. et al. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. 272p.

ENDRES, V. C. Espaçamento, densidade e época de semeadura. **EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados**, p. 82-85, 1996.

FELICETI, M. L. **Desempenho de sementes de genótipos de soja com grupos de maturação contrastantes em função da época de semeadura**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E. et al. **O clima da região de Dourados, MS**. 3. ed. Rev. e. atual. - Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017.

FONSECA, R. D. et al. Susceptibilidade à compactação de um latossolo vermelho amarelo em sistema de plantio direto. 2019. 36 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Lavras-MG.

FREDDI, O. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

GARCIA, D. O. Produção de biomassa de plantas de cobertura e seu efeito sobre a estrutura do solo. 2021.

GENRO JUNIOR, S. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v. 39, p. 65-73, 2009.

GIAROLA, N. F.; TORMENA, C.; DUTRA, A. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 863-873, 2007.

GIRARDELLO, V. et al. Benefícios do tráfego controlado de máquinas. **A Granja**, ed, v. 785, p. 34-37, 2014.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V. et al. Impacts of different management systems on the physical quality of in amazonian oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1269-1277, 2012.

GUIMARÃES, R. M. L. et al. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1512-1521, 2013.

HASKEL, M. K. **Physical attributes of soil conducted under mechanical, biological and direct planting: influence on the biological productivity of cultures**. 78 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Agricultural Production Systems), Federal University of Technology. Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2019.

HILLEL, D. **Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations**. Elsevier, 1998.

KAISER, D. R. et al. Condutividade de ar em Argissolo submetido a diferentes manejos e níveis de compactação. **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, v. 17, 2008.

KAKABOUKI, I. P. et al. Root growth dynamics and productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to fertilization and soil tillage. **Folia Horticulturae**, v. 31, n. 2, p. 285-299, 2019.

KAMIMURA, K.M.; ALVES, M.C.; ARF, O. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo de arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.3, p.723-731, 2009.

KAZMIERCZAK, R. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo. 2018. 102f. – Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual de Ponta Grossa. <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2650>

KIRNAK, H.; TAŞ, I.; GÖKALP, Z. et al. Effects of different irrigation levels on yield of lettuce grown in an unheated greenhouse. *Current trends in natural sciences*. v.5, n. 9, p. 145-151, 2016.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.

KUNCORO, P. H. et al. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, v. 143, p. 172-179, 2014.

KUZMA, M. M. et al. The site of oxygen limitation in soybean nodules. **Plant Physiology**, v. 119, n. 2, p. 399-408, 1999.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MACHADO, J. A. et al. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v., p. 187 - 189, 1981.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa**, p.573, 2017.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

MEDEIROS, R. D. de; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 960-967, 2005.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 38, p. 42-43, 1985.

MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 17, n. 4, p. 275-279, 2018.

MIOTO, L. S. et al. Resistência mecânica do solo à penetração avaliada em área de segundo ano de implantação da cultura da mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4601-4620, 2020.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. *Revista Ceres*, v. 59, n. 1, p. 125-135, 2012.

MORAES, M. T. de et al. Corn crop performance in an Ultisol compacted by tractor traffic. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p.464-477, 2018.

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

MÜLLER, G. **Qualidade física do solo e sua relação com a produtividade da cultura da soja**. 2019. 49 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Cruz, Cruz Alta, 2019.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. **Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2005.

NUNES, M. R. et al. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 119-126, 2015.

OLIVEIRA, P. R. de et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 2, p. 587-597, 2012.

PEIXOTO, D. S. et al. Diagnosing, ameliorating, and monitoring soil compaction in no-till Brazilian soils. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2019.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; BALBINO, L. C; OLIVEIRA, J. P. de. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. **Global Science and Technology**, v.3, p.87-97, 2010.

PIRES, J. Leonardo Fernandes et al. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

RAMBO, L. et al. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

ROCHA, M. V. da C. Avaliação da adubação nitrogenada na cultura do milho. 2019. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado - Uni-ANHANGUERA (Agronomia), Goiânia-GO.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2002.

SÁ, M. A. C. de et al. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1610-1622, 2016.

SALIRE, E. V. et al. Compression of intact subsoils under short-duration loading. **Soil and Tillage Research**, v. 31, n. 2-3, p. 235-248, 1994.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. D.; MARCHÃO, R. L. et al. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 115-122, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SAVIOLI, J. S.; DOS SANTOS, F. F.; LEITE, F. et al. Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e3269119903-e3269119903, 2020.

SBA (MS). Produtividade da soja no MS atinge recorde de quase 63 sacas por hectare na safra 20/21. **Sistema Brasileiro do Agronegócio**, Campo Grande, MS, 27 abr. 2021. Disponível em: <https://sba1.com/noticias/noticia/13038/Produtividade-da-soja-no-MS-atinge-recorde-de-quase-63-sacas-por-hectare-na-safra-20-21>. Acesso em: 3 ago. 2021.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery-soil physical and mechanical aspects. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 28-43, 2007.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, 2013.

SILVA FILHO, E.P. Velocidade de infiltração em área pastagem degradada e floresta natural no município de Porto Velho (RO). **Revista franco-brasileira de geografia-Confins**, n. 29, 2016.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas a irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.31-40, 2006

SILVA, M, O. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal Of Development**, Piranhas, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, R. B. D.; JUNIOR, D.; SILVA, F. A. D. M. et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 973-983, 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000.

SOUZA, L, M. **Compactação do solo e o impacto na variação espacial de atributos físico-hídricos e produtividade da soja**. 2020. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SOUZA, L. S.; MAFRA, A. L.; SOUZA, L. D.; DA SILVA, I. F.; KIEIN, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 8, p. 193-249.

STEFANOSKI, D, S. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301–1309, 2013.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

SUZUKI, L. E. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Research**, v. 51, n. 4, p. 311-321, 2013.

SUZUKI, L. E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. et al. Relative compaction, physical properties and crop yield in Oxisol and Alfisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Etude et Gestion des sols**, v. 5, p. 61-71, 1998.

TAYLOR, H.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v. 19, n. 2-3, p. 111-119, 1991.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p. 65-71, 2004.

TORMENA, C. A.; DA SILVA, A.P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

TROLEIS, M. J. **Atributos físico-químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo na produção de soja e sorgo em cerrado de baixa altitude**. 2020. 75 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sistemas e Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.

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

VALADÃO, F. C.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D. et al. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.1, p.183- 195, 2017.

VALICHESKI, R.R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S.L.K et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v.16, n.9, p.969–977, 2012.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A. et al. **Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 2105-2114, 2011.

VOORHEES, W. B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 1, p. 129-133, 1983.

WAGNER, W. et al. Efeito da compactação do solo na produtividade da cultura da soja (*Glycine max L.*). 2017.

WENDLING, B. et al. Organic carbon and aggregate stability of a Red Latosol under different managements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WIERMANN, C. et al. Effect of various dynamic loads on stress and strain behavior of a Norfolk sandy loam. **Soil and Tillage Research**, v. 50, n. 2, p. 127-135, 1999.

ZALAMENA, J. Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto - RS. Santa Maria: UFSM, 79p. 2008. Dissertação Mestrado.