

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

GUILHERME SOARES

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E
NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO**

**CERRO LARGO
2023**

GUILHERME SOARES

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E
NOS COMPONENTES PRODUTIVOS DA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Soares, Guilherme
EFEITOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS
DO SOLO E NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DO
TRIGO / Guilherme Soares. -- 2023.
40 f.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2023.

1. Compactação do solo. 2. Produtividade do trigo. I.
Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

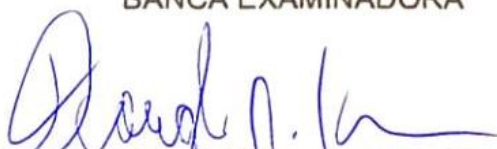
GUILHERME SOARES

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO
SOLO E NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul (UFFS), como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 15/02/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser– UFFS
Orientador



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira– UFFS
Avaliador



Eng. Agron. Me. Lucas Raimundo Rauber - UFSM
Avaliador

RESUMO

A crescente mecanização da agricultura iniciada a partir dos anos 60 no Brasil, associada a simplificação do sistema plantio direto provoca a compactação das camadas superficiais do solo comprometendo a produtividade da cultura e a eficiência dos insumos nela empregados. Para combater este efeito muitos produtores utilizam-se da escarificação como forma imediata de resolução do problema. Tendo em vista tais fatos, avaliou-se o efeito dos diferentes manejos e dos níveis de compactação do solo sobre os atributos físicos de um Latossolo Vermelho bem como o seu impacto nos componentes de produtividade da cultura do trigo. O delineamento utilizado para o experimento foi blocos ao acaso, consistindo em 5 blocos e 4 tratamentos, sendo eles: T1 - plantio direto; T2 - compactação induzida do solo com 1 passada do trator; T3 - compactação induzida do solo com 3 passadas do trator; T4 - solo escarificado. Os tratamentos empregados apresentaram efeitos até a profundidade de 15 cm. A compactação das parcelas foi limitante para a produtividade da cultura do trigo quando comparado aos demais manejos onde T1 apresentou o maior valor quanto a produtividade da cultura do trigo (4,22 Mg/ha), não diferindo de T4 (4,193 Mg/ha) e T2 (3,864 Mg/ha) e a menor produtividade foi observada em T3 (3,542 Mg/ha).

Palavras-chave: Plantio-direto, Densidade, Produtividade.

ABSTRACT

The increasing mechanization of agriculture that started in the 1960s in Brazil, associated with the simplification of the no-tillage system, causes compaction of the surface layers of the soil, compromising the productivity of the crop and the efficiency of the inputs used. To combat this effect, many producers use scarification as an immediate solution to the problem. In view of these facts, the effect of different soil management and compaction levels on the physical attributes of a oxisol and its impact on wheat crop productivity components were evaluated. The experimental design used for the experiment was randomized blocks, consisting of 5 blocks and 4 treatments, namely: T1 - no-tillage; T2 - soil compaction induced with 1 tractor pass; T3 - soil compaction induced with 3 tractor passes; T4 - scarified soil. The treatments used had effects up to a depth of 15 cm. Soil compaction in the plots was limiting for wheat crop productivity when compared to the other management systems, where T1 presented the highest value for wheat crop productivity (4.22 Mg/ha), not differing from T4 (4.193 Mg/ha) and T2 (3.864 Mg/ha), and the lowest productivity was observed in T3 (3.542 Mg/ha).

Keywords: No-tillage, Density, Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área do experimento.....	16
Figura 2 - Compactação induzida das parcelas.	18
Figura 3 - Parcelas após escarificação.	18
Figura 4 - Coleta de anéis com estrutura preservada.	19
Figura 5 - Amostras em processo de saturação.....	20
Figura 6 - Implantação da cultura do trigo.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Umidade gravimétrica do solo no dia da compactação.....	17
Tabela 2 - Umidade gravimétrica do solo no dia da escarificação.	17
Tabela 3- Dados da análise química do experimento.	21
Tabela 4 - Propriedades físicas do solo sob as diferentes condições avaliadas.	24
Tabela 5 - Componentes de rendimento da cultura do trigo	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	OBJETIVO GERAL.....	7
1.1.1	Objetivo específico	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	8
2.1.1	O processo de compactação do solo	8
2.1.2	Impacto da compactação do solo sobre as culturas agrícolas	8
2.1.3	Atributos de qualidade física do solo	10
2.1.4	Estratégias de mitigação da compactação do solo	12
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA.....	15
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	15
3.3	TRATAMENTOS.....	16
3.4	AVALIAÇÕES OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	19
3.5	IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DO TRIGO E TRATOS CULTURAIS.....	20
3.6	AVALIAÇÕES NA CULTURA DO TRIGO.....	22
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	24
4.2	GRAU DE COMPACTAÇÃO.....	28
4.3	RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO.....	29
	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A modernização e mecanização dos anos 1960 e 1970 trouxe diversos benefícios a agricultura, como aumento da produtividade e redução da necessidade de mão de obra no campo. O crescimento dos centros urbanos trouxe um novo desafio para a agricultura, que agora precisa produzir mais alimento por unidade de área.

A atual necessidade de intensificação do uso do solo no Brasil aliado com práticas agrícolas empregadas de forma equivocada, contribui para um aumento da compactação do solo, que devido ao tráfego constante em períodos inadequados agrava ainda mais a disseminação deste problema.

Nas últimas décadas o advento do sistema plantio direto trouxe diversos avanços na conservação do solo e da água, uma vez que esta técnica quando bem utilizada contribui enormemente para a conservação do solo e da água. No entanto muitos agricultores acabam interpretando de maneira equivocada o conceito do plantio direto, onde apesar de realizarem o plantio sobre a palhada, acabam por desconsiderar a importância da diversificação de espécies vegetais a ser introduzidas no sistema, bem como da necessidade de constante aporte de matéria orgânica no solo.

Este problema aliado à movimentação de maquinário quando o solo está com condição de plasticidade elevada acaba por acarretar em elevados índices de compactação do solo em sua camada superficial. Como o plantio direto parte do princípio do não revolvimento do solo esta camada acaba por não sofrer nenhum efeito de desagregação, seja leve ou pesada, mantendo constante a compactação do mesmo.

Apesar de conhecidas as limitações causadas pelo aumento do estado de compactação para a manutenção da qualidade física do solo, ainda existe uma lacuna no conhecimento a cerca do impacto do aumento da compactação na produtividade das diferentes culturas de interesse comercial, em especial a cultura do trigo.

Este trabalho tem por objetivo determinar o efeito de diferentes níveis de compactação do solo, aliado a outras formas de manejo do solo nos componentes de rendimento da cultura do trigo, relacionando os índices de determinação da qualidade física do solo, com a produtividade da cultura. Além disso busca-se determinar o impacto resultante do processo de compactação nos atributos físicos do solo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o impacto dos diferentes manejos do solo nos atributos físicos do solo e nos componentes de rendimento da cultura do Trigo.

1.1.1 Objetivo específico

1. Determinar o impacto dos diferentes manejos nos componentes de rendimento da cultura do trigo.
2. Determinar o efeito dos diferentes manejos do solo nos atributos físicos do solo.
3. Determinar o impacto dos diferentes níveis de compactação na produtividade da cultura do trigo.
4. Determinar o efeito dos diferentes níveis de compactação nos atributos físicos do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

2.1.1 O processo de compactação do solo

Atualmente com o advento da agricultura mecanizada moderna, o fluxo constante de maquinário e em menor escala de animais pela lavoura são as principais causas da compactação do solo. Esta pressão aplicada ao solo pelo maquinário aliada a um conteúdo de água inadequado do solo acaba por potencializar ainda mais este efeito no solo (HAMZA e ANDERSON, 2005). Trazae o gap

A constante mecanização da agricultura trouxe como consequência uma maior circulação de maquinários pesados nas lavouras, esta grande circulação de equipamento pesado pelo solo acaba por alterar a suas características físicas em especial a densidade de seus agregados, desta forma o constante tráfego sob o solo acaba gerando o efeito conhecido como compactação (STRECK, 2004).

Esta influência nas características físicas do solo causado pelo constante tráfego de maquinários causa a formação de camadas de solo compactado, esta situação é agravada pelo fato de com a implantação do plantio direto e consequente abandono do revolvimento do solo, aliados a não utilização de técnicas para reduzir tal situação, como escarificação ou a utilização de plantas de cobertura tais camadas acabam por permanecer constantemente em estado compactado (STRECK, 2004).

Muito vago.

2.1.2 Impacto da compactação do solo sobre as culturas agrícolas

A compactação do solo acarreta diversas alterações nos indicadores de qualidade física do solo, sendo muito presente em solos conduzidos sob manejo inadequado. Isto corrobora com o aparecimento de efeitos negativos ao desenvolvimento e estabelecimento das plantas, onde o comprometimento da

absorção de nutrientes leva a uma menor produção de massa seca da parte aérea (MPSA), (MEDEIROS et al, 2005).

Esta redução na produção de massa seca da parte aérea também foi determinada por Montagu *et al* (2001), onde plantas cultivadas em solo compactado tiveram um número similar de folhas que suas contrapartes cultivadas em solo solto, porém tais folhas apresentaram folhas com tamanhos reduzidos.

Apesar do visível impacto no desenvolvimento vegetal a presença de camadas compactadas no horizonte do solo e o seu impacto no desenvolvimento radicular pode ser de difícil mensuração Reichert *et al* (2003), pois o sistema radicular da cultura se adaptar em resposta a exposição das raízes a camadas compactadas (NOGUEIRA e MANFREDINE, 1983). Fato semelhante também é apresentado por Montagu *et al* (2001) que afirma que a resposta da planta através do seu sistema radicular será de acordo com qual camada do solo está mais compactada.

Esta resposta a compactação pode levar as raízes a mudanças na sua conformação, ocorrendo alterações no diâmetro e supressão na formação de nódulos (NOGUEIRA; MANFREDINE, 1983). Além de alterar a sua morfologia Beulter e Centurion (2004) relataram que camadas compactadas induziram o adensamento do sistema radicular da cultura da Soja, na região superficial de menor compactação, isto torna-se um fator limitante principalmente em períodos de deficiência hídrica, pois limita a capacidade de absorção de água.

A mudança no desenvolvimento radicular traz alguns impactos na absorção de nutrientes, pois segundo Medeiros (2005), constatou que na cultura do arroz irrigado a compactação influencia negativamente na absorção de nutrientes, porém esta redução teve menor influência na absorção de N, P e K do que o déficit hídrico, o autor destaca que em determinadas situações a presença de camada compactada só terá um impacto significativo na produtividade do arroz irrigado quando este estiver em condição de deficiência hídrica.

Algo semelhante foi encontrado por Nogueira e Manfredine (1983) ao avaliar o desenvolvimento da soja em solo compactado, porém com disponibilidade de água próxima a capacidade de campo, afirmaram que a presença de camada compactada na cultura da soja irá influenciar na produção somente em condições de deficiência hídrica. Este fenômeno pode ser explicado por Montagu *et al* (2001), onde este descreve que o sistema radicular ao se desenvolver entre camadas compactadas e

camadas de solo solto tendem a apresentar raízes com comprimento e diâmetro similar à de plantas que se desenvolveram em solo totalmente solto.

O desenvolvimento radicular e conseqüente redução da absorção de nutrientes em condições de compactação tem efeitos diretos na parte aérea da planta, apesar da MSPA ser impactada outro fator que é influenciado é o teor de determinados nutrientes na folha, onde plantas de arroz mesmo em condições hídricas ótimas a compactação acabou por reduzir os teores de N, P e K em 24,9%, 35,5% e 24,3% respectivamente, quando comparadas a testemunha com solo sem compactação (MEDEIROS *et al*, 2005). Contudo, Beulter e Centurion (2004) descrevem que para a cultura da soja uma redução de 18% na densidade radicular na camada de 5-15 cm sob efeito de compactação ocorre impacto significativo na produção de grãos de soja.

Além das limitações anteriormente citadas outro problema a ser observado causado pela compactação é a privação de oxigênio, segundo Crawford e Braendle (1996), a sensibilidade a privação de oxigênio varia muito entre as diferentes espécies, no entanto foi observado que a maior parte das espécies de cereais acaba por ter sua germinação inibida após longos períodos de privação de oxigênio, sendo a principal exceção a cultura do arroz.

2.1.3 Atributos de qualidade física do solo

Avaliar a qualidade física do solo é fundamental para determinar o efeito do manejo empregado sobre o solo ou a necessidade de alterações nas práticas empregadas no solo. Para tanto, se faz necessário identificar os indicadores de qualidade física do solo, Araújo *et al* (2012) determina que os principais indicadores de qualidade física do solo são a textura, densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, resistência a penetração e capacidade de retenção de água. Dentre estes fatores a textura é o fator que menos difere de acordo com o manejo a ser empregado.

Um dos principais atributos do solo a ser impactado durante o processo de compactação é a macroporosidade do solo. A porosidade tem grande importância na aeração e dispersão de gases no solo Klein *et al* (2009). A aeração do solo é fundamental para o desenvolvimento vegetal, pois o oxigênio é essencial nas trocas gasosas do sistema radicular (MARSHALL *et al*, 1999). Além disso, a porosidade do

solo pode ser utilizada como parâmetro para a determinação de outros indicadores como a capacidade de campo (KLEIN *et al*, 2006).

A porosidade do solo é muito suscetível ao efeito de compactação do solo, sendo a sua geometria muito afetada por este efeito, impactando como consequência em uma menor disponibilidade de água para a planta (KLEIN *et al*, 2009).

A porosidade do solo também influencia na ascensão da coluna de água pelo processo de capilaridade. A capilaridade consiste na força de adesão das moléculas de água na parte interna dos poros, onde a variação na porosidade do perfil seja em intensidade seja em diâmetro do poro pode ser comprometida (REICHERT *et al*, 2011). Desta forma, manter a porosidade do solo constante pode auxiliar na translocação da coluna de água ao longo do perfil.

O manejo do solo influencia fortemente na porosidade do mesmo, em especial a macroporosidade. Contudo a determinação de tal influência do manejo pode ser subestimada em avaliações a campo, devido à dificuldade em se representar a muitas vezes complexa distribuição do sistema poroso do solo ao longo do seu o perfil (REICHERT *et al*, 2011). Desta forma a determinação da porosidade do solo, deve ocorrer através da amostragem do solo ao longo de seu perfil. Alterações na sua continuidade acarretam mudanças no fluxo de água do solo, podendo reduzir a sua infiltração.

A movimentação de água no solo depende de diversos fatores, sendo a condutividade hidráulica um deles, Gonçalves e Libardi (2013), descrevem que “a condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água nele se movimenta, sendo de extrema importância ao uso agrícola [...]”. Os autores ainda descrevem que a condutividade hidráulica serve como indicador da qualidade e da funcionalidade do sistema poroso do solo, onde pode variar de acordo com a continuidade do mesmo. Ocorre também uma maior resposta a estrutura do solo do que propriamente a sua textura, principalmente ao avaliar a condutividade hidráulica saturada. Isto é confirmado por Araújo *et al* (2012) que descreve a textura e estrutura do solo como determinantes na porosidade e como consequência na condutividade hidráulica.

Outro fator a ser mensurado na determinação da qualidade física do solo é a resistência penetração, esta varia de acordo com a textura do solo e com a técnica de manejo do mesmo. O impacto da resistência a penetração se dá principalmente no sistema radicular, como afirmado por Beulter e Centurion (2004) que ao avaliarem o

desenvolvimento radicular da cultura da soja em um Latossolo Vermelho, constataram que em condição de resistência a penetração de 2,07 MPA ocorre diminuição na densidade e no diâmetro radicular. Desta forma o sistema radicular tende a responder a resistência a penetração do solo.

Em última análise é possível afirmar que a compactação do solo traz diversos impactos negativos na qualidade física do solo, podendo ser confirmado pelos dados apresentados por Suzuki *et al*, (2007) que determinou que o aumento do grau de compactação do solo tem como efeito um impacto linear na redução da macroporosidade e concomitantemente na condutividade hidráulica. Também observou que a determinação dos níveis críticos relativos aos indicadores de qualidade física do solo é dependente do tipo de solo a sofrer o processo de compactação.

2.1.4 Estratégias de mitigação da compactação do solo

Tão importante quanto identificar os efeitos da compactação no solo e na produtividade das culturas agrícolas é determinar as estratégias de manejo mais adequadas para a sua mitigação. Segundo Hamza e Anderson (2005), uma forma de contornar a compactação do solo é aumentar a porosidade do solo, utilizando-se de aumento da matéria orgânica aliado a rotação entre culturas produtoras de grãos e forrageiras, rompimento de camada compactada e controle de tráfego de maquinário e animais.

A utilização de sistemas de manejo com revolvimento podem ser uma alternativa ao controle da compactação do solo. No entanto segundo Stone e Silveira (2001), tratamentos utilizando o revolvimento do solo apesar de terem maior impacto no aumento da macroporosidade do que tratamentos sob plantio direto, acabaram por influenciar somente a camada superficial 0-10 cm. Em paralelo o uso prolongado de grade aumentou os valores de densidade na camada mais profunda localizada imediatamente abaixo da profundidade de trabalho do implemento.

O uso de escarificadores em sistemas de cultivo mínimo, também tem efeitos desejáveis ao solo. Neste sentido Secco e Reinert (1997) relataram que onde ocorreu a utilização de escarificador no manejo de um Latossolo Vermelho-escuro ocasionou em incremento na rugosidade do solo direcionado ao sentido de deslocamento do

maquinário. Porém esta mesma rugosidade só se apresentou em plenamente no solo após 10 meses de realizado o preparo. Resultados similares foram encontrados por Camara e Klein (2005), que houve superioridade no nível de rugosidade do solo do plantio direto escarificado em comparação ao sistema plantio direto sem escarificação, mesmo após 12 meses da operação.

A utilização de plantas de cobertura como forma de mitigar o impacto negativo da compactação do solo foi estudado por Nicoloso *et al* (2008), onde este determinou que a escarificação proporcionou um maior aporte de matéria seca pelas plantas de cobertura do solo, devido a melhoria dos atributos físicos do solo proporcionado as plantas.

A utilização de plantas de cobertura não influencia na microporosidade do solo, no entanto a utilização de consórcio nabo-forrageiro e aveia-preta traz aumento significativo a macroporosidade do solo ao longo da camada de 0 a 20 cm de profundidade, resultado superior ao uso de escarificação que possibilitou aumento da macroporosidade apenas na profundidade de 5 cm (NICOLOSO *et al*, 2008). Este efeito pode ser explicado por Hamza e Anderson (2005), que afirmam que a pressão de turgor durante o processo de alongação das raízes das plantas tem a capacidade de romper a camada compactada do solo.

O aumento da matéria orgânica do solo seja ela de origem vegetal advinda dos restos culturais ou aquela externa aplicada na forma de dejetos animais, tem como característica aumentar a qualidade física do solo, pois uma vez presente esta reduz a compactação do mesmo, ao conter a força aplica nas camadas do solo pela ação de mecanismos externos, principalmente aqueles ligados aos tratos culturais bem como pelo tráfego de animais (HAMZA e ANDERSON, 2005).

Outra estratégia que pode ser utilizada na mitigação da compactação do solo é o controle do tráfego de maquinário e de animais na lavoura. Segundo Hamza e Anderson (2005), afirmam que reduzir a circulação de maquinário ao mínimo necessário para a manutenção das atividades relacionadas ao cultivo pode reduzir significativamente o impacto da compactação no mesmo, além disso segundo os autores realizar as atividades que dependem do uso de maquinário a períodos de menor umidade do solo a exceção daqueles onde a umidade do solo é vital ao funcionamento da prática também contribui no processo de melhoria da qualidade física do solo.

Para além disso, em áreas já implantadas com sistema plantio direto este tem a capacidade de reduzir o impacto da compactação causada pelo tráfego de maquinários pesados, mantendo o solo mais resiliente a este processo. Também é necessário manter constante a manutenção do aporte de matéria orgânica no solo através de plantas de cobertura para que essa capacidade de manutenção do solo permaneça constante (MELO *et al*, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA

O presente estudo foi realizado na localidade de Santa Lúcia interior do município de Tuparendi (Rio Grande do Sul, Brasil), onde se encontra a - 27° 42' 56" Sul e 54° 35' 19" Oeste e a uma altitude de 246 metros. O clima da região de execução do experimento é Cfa (subtropical úmido) segundo a classificação climática de Köppen.

A adoção do Sistema Plantio Direto na área iniciou-se a partir do ano de 1997, com a implantação de terraços, plantio sobre a palha e não revolvimento do solo. Na área são cultivados soja, milho e trigo como culturas comerciais principais, porém apresenta em seu histórico a utilização de culturas secundárias ou de cobertura, como painço, aveia preta e nabo forrageiro. Ainda em seu histórico está presente a realização de escarificação periódica, sendo a última realizada em 2014.

O tipo de solo onde foi instalado o experimento é segundo Streck *et al* (2018) um Latossolo Vermelho sendo inserido na Unidade de Mapeamento Santo Ângelo possuindo 61% de argila, 37% de silte e 2% de areia.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado é blocos ao acaso (DBC), utilizando 5 blocos e 4 tratamentos por bloco, totalizando 20 unidades experimentais. As unidades experimentais possuem uma dimensão de 2,80 m de largura por 5 m de comprimento, compreendendo uma área de 14 m². O distanciamento entre as parcelas no bloco foi de 4 m e a distância entre os blocos é de 3 m.

Os tratamentos utilizados foram: T1 plantio direto, T2 compactação induzida do solo com 1 passada do trator, T3 compactação induzida do solo com 3 passadas do trator, e T4 solo escarificação (Figura 1). A implantação de cada tratamento foi realizada em momentos diferentes, devido as condições de umidade do solo necessária para a implantação dos tratamentos ser diferente.

Figura 1 - Croqui da área do experimento.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.3 TRATAMENTOS

A compactação foi induzida pelo rodado do trator e ocorreu quando o solo estava em condição plástica de umidade Tabela 1.

O método de compactação consistiu em passadas consecutivas do trator sob toda área da parcela (Figura 2), com sentido de deslocamento paralelo a extensão da parcela dentro do bloco. A compactação se iniciou com o posicionamento do trator paralelo ao comprimento da parcela, onde inicialmente somente o pneu frontal do lado esquerdo está em contato com a parcela. Para ser considerada uma passada completa o trator deve percorrer todo o comprimento da parcela e sair inteiramente desta, em seguida volta-se em marcha ré, percorrendo exatamente o mesmo rastro.

Este deslocamento frente-ré no mesmo rastro foi considerado como uma passada completa. No caso da compactação induzida por 3 passadas (T3), o equipamento deve realizar este processo 3 vezes consecutivas no mesmo rastro e no caso da compactação induzida por 1 passada (T2) este processo foi repetido somente 1 vez.

O tratamento 4 consistia na realização de escarificação do solo em sua condição normal de manejo, onde foi utilizado um subsolador de 7 hastes com profundidade de trabalho em torno de 20 cm.

O tratamento 1 consistia na manutenção do solo sob a condição previa da área, não sendo realizado nenhum dos manejos anteriormente descritos.

Tabela 1 - Umidade gravimétrica do solo no dia da compactação.

Camada	Umidade gravimétrica (g g ¹)
0-5	0,24
5-10	0,22
10-15	0,22
15-20	0,21

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Ao analisar as Tabelas 1 e 2 observa-se que, a umidade gravimétrica do solo no momento da compactação estava em patamar mais elevado do que no momento da escarificação. Isso ocorreu devido a necessidade de maior plasticidade do solo para maximizar o efeito do tráfego do trator sob o solo na parcela.

Tabela 2 - Umidade gravimétrica do solo no dia da escarificação.

Camada	Umidade gravimétrica (g g ¹)
0-5	0,20
5-10	0,20
10-15	0,20
15-20	0,19

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

A escarificação das parcelas foi realizada no dia 13 de junho de 2022 conforme ilustrado na Figura 3, já a compactação das parcelas foi realizada no dia 8 de junho de 2022, onde foi utilizado um trator MF 4275 cujo peso conhecido é de 4.800 kg

Figura 2 - Compactação induzida das parcelas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 3 - Parcelas após escarificação.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

3.4 AVALIAÇÕES OS ATRIBUTOS FISICOS DO SOLO

Para a determinação dos atributos coletou-se amostras de solo com estrutura preservada nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15cm e de 15-20 cm de profundidade como representado na Figura 4. Em seguida, estas amostras foram saturadas em bandeja contendo água destilada (Figura 5) para posterior introdução na mesa de tensão, para posterior determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade densidade do solo segundo metodologia descrita por (TEIXEIRA *et al*, 2017). As coletas foram realizadas em um único ponto por parcela, onde para camada foi utilizado 1 anel de aço inox com as dimensões aproximadas de 38 mm de altura e 40 mm de diâmetro, totalizando 80 anéis ao final da coleta. As amostras foram coletadas no dia 4 de novembro de 2022.

Para determinação do grau de compactação foi inicialmente estimada a densidade máxima do solo utilizando metodologia descrita por Marcolin e Klein (2011) onde através do teor de matéria orgânica do solo e de seu teor argila é possível determinar a Densidade máxima do solo. Assim, é possível determinar o grau de compactação através da divisão entre a densidade do solo observada e a densidade máxima.

Densidade $_{m\acute{a}x}$: $2,03133855 - 0,00320878 MO - 0,00076508 \text{ argila}$.

Figura 4 - Coleta de anéis com estrutura preservada.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 5 - Amostras em processo de saturação



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

3.5 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DO TRIGO E TRATOS CULTURAIS

Para recomendação da quantidade de corretivos e fertilizantes foi realizada coleta de amostras de solo estratificadas, nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm e em 5 pontos da área onde foi implantado o experimento. Posteriormente, o solo foi homogeneizado e depositado em bandejas para secagem ao ar. As amostras de solo foram encaminhadas a Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais – Departamento de solos. Os resultados da análise química podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3- Dados da análise química do experimento.

Propriedade	Camada	
	0 - 10	0 – 20
pH H ₂ O	5,6	5,5
SMP	6,0	6,2
MO (%)	3,3	2,3
P (mg/dm ⁻³)	11,4	7,9
K (cmol _c /dm ⁻³)	0,44	0,246
Al (cmol _c /dm ⁻³)	0	0
Ca (cmol _c /dm ⁻³)	8	7,2
Mg (cmol _c /dm ⁻³)	3,7	3,4
H+Al (cmol _c /dm ⁻³)	4,4	3,5
CTC efet. (cmol _c /dm ⁻³)	12,1	10,8
CTCpH7 ((cmol _c /dm ⁻³)	16,5	14,3
Saturação de Al (%)	0	0
Saturação de bases (%)	73,2	75,8

Fonte: Universidade Federal de Santa Maria, 2022.

A cultivar utilizada para o experimento foi a TBIO AUDAZ. A implantação da cultura realizou-se no dia 1 de julho de 2022 (Figura 6) utilizando semeadora SHM 17, com espaçamento entre linhas de 0,17 metros. Para adubação utilizou-se formulado NPK 9-24-14 na dose de 250 kg ha⁻¹, além para adubação nitrogenada equivalente a 70 kg de N por hectare. Foram utilizados 160 kg de sementes por hectare para a semeadura.

Figura 6 - Implantação da cultura do trigo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

3.6 AVALIAÇÕES NA CULTURA DO TRIGO

As avaliações dos componentes de produtividade da cultura do trigo ocorreram a partir da maturação fisiológica da cultura. Foi realizada colheita e debulha manual das planta a partir de amostra de 7,5 metros lineares dentro de cada parcela distribuídos em 5 pontos de 1,5 metros. Após a debulha desta amostra foi realizado a determinação do peso de mil sementes, produção em Mg/há e o peso de hectolitro de cada amostra. Para os componentes n° de espigas por m², n° de grãos por espiga e n° de espiguetas por espigas foi realizado a coleta de espigas em duas amostras de 1 metro linear dentro de cada parcela. Estes métodos seguem metodologia descrita por Vesohoski *et al* (2001).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados com o auxílio do software SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A Tabela 4 representa os dados referentes a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e grau de compactação nos tratamentos: T1 (plantio direto), T2 (compactação 1x), T3 (compactação 3x) e T4 (escarificação).

Tabela 4 - Propriedades físicas do solo sob as diferentes condições avaliadas.

Camada (cm)	T1	T2	T3	T4
	Densidade do solo (Mg m⁻³)			
0-5	1,15 bc	1,25 ab	1,30 a	1,02 c
5-10	1,22 bc	1,33 ab	1,36 a	1,13 c
10-15	1,28 a	1,32 a	1,37 a	1,15 b
15-20	1,33 a	1,31 a	1,36 a	1,27 a
Porosidade do solo (m³ m⁻³)				
0-5	0,60 ab	0,57 bc	0,54 c	0,64 a
5-10	0,58 ab	0,54 b	0,53 b	0,61 a
10-15	0,55 b	0,54 b	0,53 b	0,60 a
15-20	0,54 ab	0,55 ab	0,53 b	0,56 a
Microporosidade do solo (m³ m⁻³)				
0-5	0,39 bc	0,44 a	0,42 ab	0,38 c
5-10	0,41 ab	0,43 a	0,43 a	0,38 b
10-15	0,41 ab	0,42 a	0,43 a	0,37 b
15-20	0,42 a	0,42 a	0,43 a	0,41 a
Macroporosidade do solo (m³ m⁻³)				
0-5	0,21 a	0,12 b	0,12 b	0,26 a
5-10	0,16 ab	0,11 b	0,10 b	0,23 a
10-15	0,14 ab	0,12 b	0,09 b	0,23 a
15-20	0,11 a	0,12 a	0,09 a	0,14 a
Grau de compactação (%)				
0-5	78,698ab	85,260 a	88,836 a	69,262b
5-10	82,960 ab	90,568 a	92,786a	76,896 b
10-15	87,258 a	90,276 a	93,174 a	78,386b
15-20	90,638 a	89,236 a	92,242 a	86,204 a

*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% na linha.

Fonte: Elaborado pelo autor. 2023

Nos atributos avaliados densidade do solo, microporosidade e macroporosidade os efeitos dos diferentes tratamentos executados no experimento foram observados até a camada de 15 cm. Para o parâmetro de porosidade total foram observadas diferenças até a camada de 20 cm. Este efeito apresenta-se em desacordo com o observado por Girardello *et al*, (2011), que observou distinção entre as características iniciais do solo e o efeito posterior a escarificação na camada de 0-20 cm. A não influência dos tratamentos nos atributos do solo nesta profundidade pode ser explicada em parte por uma profundidade de escarificação inferior a esperada.

No geral, a camada de 15 – 20 cm somente apresentou diferença estatística para o fator porosidade total, isto mostra que os tratamentos utilizados nas parcelas não tiveram influência nesta camada uma vez que não foi observada diferença estatística nos demais atributos.

Ao observar a Tabela 3, é válido destacar que mesmo no nível mais intenso de tráfego do trator (T3), o aumento da densidade do solo, apesar de ocorrer na camada superficial do solo (0-5 cm), foi menos pronunciado do que nas camadas de 5-10 e 10-15 cm de profundidade, este efeito pode ser explicado devido a camada superficial do solo possuir maior concentração de matéria orgânica e nutrientes, o que estimula a uma maior concentração radicular na camada 0-5 cm, desta forma garantindo maior resiliência ao solo durante a aplicação de força mecânica. Segundo Alvarenga *et al*, (1996) o aumento da densidade do solo na camada compactada acarretou em uma maior concentração de raízes sobre esta camada, comprometendo o seu desenvolvimento ao longo do perfil.

O menor efeito no aumento da densidade do solo na camada superficial nos tratamentos que sofreram tráfego, pode ser explicado devido ao fato do material orgânico propiciar ao solo uma maior estabilidade estrutural e por possuir menor densidade que sólidos minerais (MARCOLIN e KLEIN, 2011).

Ambos os níveis de tráfego (T2 e T3) realizado pelo trator, proporcionaram efeitos significativos no aumento da densidade do solo nas camadas até a

profundidade de 15 cm, não sendo observada diferença significativa entre todos os tratamentos na camada de 15-20 cm.

Para as camadas superficiais 0-5 cm e 5-10 cm, o tráfego intenso do trator (T3), resultou no maior valor para densidade do solo de 1,30 Mg m⁻³ e 1,36 Mg m⁻³ respectivamente, em ambos os casos não diferiu significativamente do tráfego de menor intensidade (T2) 1,25 Mg m⁻³, para a camada de 0-5 cm e 1,33 Mg m⁻³, e para a camada de 5-10 cm. T2 por sua vez não diferiu significativamente do plantio direto (T1), que apresentou valores intermediários de densidade do solo nas camadas de 0-5 cm (1,15 Mg m⁻³) e 5-10 cm (1,22 Mg m⁻³). A menor densidade do solo foi obtida nas parcelas que receberam a escarificação (T4) onde obteve 1,02 Mg m⁻³ (0-5 cm) 1,13 Mg m⁻³ (5-10 cm) e 1,15 Mg m⁻³ (10-15 cm), este diferiu significativamente dos tratamentos com realização de tráfego (T2 e T3) até a profundidade de 15 cm, diferindo de T1 apenas na camada de 10 a 15 cm. Nas camadas de 5 – 10 cm e 10 – 15 cm de profundidade os menores valores de densidade do solo foram obtidos em T4 diferindo significativamente dos demais tratamentos.

Ao avaliarmos o que diz Secco *et al* (2009) o aumento da densidade do solo associado com uma redução da macroporosidade para valores próximos a 0,10 m³ m³ associado a densidade do solo superior a 1,30 Mg m³ pode configurar um solo em condição compactada. Avaliando desta forma, é possível afirmar que no tratamento 3 ocorreu formação de camada compactada e, portanto, limitante ao desenvolvimento radicular a partir da profundidade de 5 cm.

Estes dados podem ser confirmados por Streck *et al*, (2004) que em experimento utilizando tráfego em 4 vezes, foi possível observar o incremento significativo da densidade do solo até uma profundidade de 15 cm em relação a testemunha com plantio direto. O autor também observou que não houve diferença significativa em termos de densidade do solo entre o sistema plantio direto e compactação do solo pelo tráfego em duas vezes do maquinário.

Este comportamento, aliado ao fato de já existir na área com plantio direto um estado de maior densidade do solo, como consequência de manejos anteriores (STRECK *et al*, 2004). O fato também é confirmado por Tormena *et al* (2002), que afirma que a maior densidade do sistema plantio direto ocorre devido a constante tráfego de máquinas associado ao não revolvimento.

Em condições de compactação do solo pela ação do tráfego de maquinário pode ser observadas alterações nos atributos físicos do solo, segundo os autores Klein e Libardi (2002), a densidade e a porosidade total do solo estão correlacionadas, onde um aumento na densidade do solo teria como consequência uma alteração no arranjo das partículas e alteração do volume dos poros.

Para a porosidade do solo as parcelas que receberam T4 (escarificação), apresentaram as maiores médias em todas as camadas avaliadas, não diferindo significativamente de T1 nas camadas de 0-5, 5-10 e 15-20, diferindo de T2 somente até a profundidade de 15 cm; T2 e T3 não diferiram significativamente em nenhuma das camadas avaliadas.

Na camada de 10-15 cm T4 apresentou o aumento da porosidade ($0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação a T1 ($0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) diferindo do observado por Tormena *et al* (2002), que constatou que a utilização de escarificadores em cultivo mínimo e convencional aumentou os valores de porosidade total do solo na camada superficial quando comparado ao plantio direto, mas não apresentou diferença na camada 0-10.

T3 apresentou os menores valores quanto a porosidade do solo, diferindo de T4 em ambas as camadas, porém a partir dos 15 cm de profundidade não foi observada diferença estatística entre T3 e T1.

Para macroporosidade o Tratamento 4 apresentou as maiores médias para ambas as camadas, diferindo significativamente de T3 e T2 até a profundidade de 15 cm, não diferindo de T1 em nenhuma das camadas observadas, na camada de 0-5 cm T1 ($0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) diferiu de T2 ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e T3 ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), apresentando valores intermediários nas camadas de 5-10 ($0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e 10-15 ($0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) cm não diferindo de nenhum tratamento; na camada de 15 – 20 cm não foi observada diferença significativa em nenhum dos tratamentos utilizados. O menor valor de macroporosidade observado foi $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 10-15 com o Tratamento 3, considerando que uma macroporosidade inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pode ser limitante para o desenvolvimento da planta (SUZUKI *et al*, 2007).

Stone e Silveira (2001) retratam que o não revolvimento do solo ocasionou em uma redução na porosidade total e na macroporosidade, no entanto os autores observaram que em parcelas com revolvimento ocorreu formação de camada compactada em profundidade a partir de 20 cm.

Silva *et al*, (2003) observou que imediatamente após a passada da roda do trator é possível notar alterações na macroporosidade do solo, onde a tendência é uma diminuição no volume dos macroporos.

Os valores de microporosidade diferiram significativamente entre os tratamentos nas camadas avaliadas exceto na camada de 15 – 20 onde não foi observada nenhuma diferença estatística. Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o maior valor de microporosidade foi obtido no tratamento 2 não diferindo significativamente de T3 para as 2 camadas. T3 por sua vez diferiu apenas de T4, exceto até a profundidade de 15 cm, a partir daí não houve diferença estatística entre os tratamentos. T4 não diferiu de T2 e T3 apenas na camada de 15-20 cm, T4 e T1 não apresentaram diferença quanto a microporosidade em nenhuma das camadas avaliadas.

Foi possível observar que a compactação induzida nas duas intensidades nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm um aumento da microporosidade e uma redução na macroporosidade, essa tendência também foi observada por Colares *et al* (2008) que constatou o aumento da microporosidade do solo que pode ser ocasionada por um rearranjo dos agregados do solo como consequência da aplicação de força mecânica pelos pneus do trator, desta forma ocasionando em um aumento no volume de microporos.

4.2 GRAU DE COMPACTAÇÃO

Ao analisarmos o grau de compactação é possível notar que T3 apresentou os maiores percentuais para a camada 0-5 (88,36%), 5-10 (92,78%), não diferindo significativamente de T2 e T1 para ambas as camadas, mas diferindo de T4 que apresentou os menores percentuais com 69,26% para a camada de 0-5 e 76,89% para a camada de 10-15 cm.

A avaliação do grau de compactação, demonstrou que nas camadas de 0-5 e 10-15 cm, as maiores médias foram obtidas em T3 (88,36% e 93,17%) não diferindo significativamente de T2 e nem de T1 que apresentaram médias intermediárias.

As parcelas que receberam escarificação apresentaram menor grau de compactação em ambas as camadas, diferindo significativamente de T2 e T3 em

todas as camadas até os 15 centímetros, porém diferindo de T1 apenas na camada de 10 – 15 centímetros.

Alterações no grau de compactação podem ser observadas em outros atributos do solo, onde um aumento do grau de compactação leva a uma redução linear da macroporosidade (SUZUKI *et al*, 2007). Em concordância com essa afirmação foi possível observar que na camada de 10-15 cm sob o tráfego mais intenso (T3) foi encontrado o menor valor de macroporosidade 0,094 m³ m³ e o maior para o grau de compactação 93,17%. O autor ainda observa que um grau de compactação superior a 93% para Latossolo Vermelho começa a ser limitante para a produtividade.

Assim como observado nos atributos densidade, macroporosidade e microporosidade não foi observada diferença significativa entre os tratamentos na camada de 15 – 20 centímetros, mostrando que tanto as diferentes intensidades de tráfego quanto a escarificação não influenciaram na camada mais profunda.

4.3 RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO

Os componentes do rendimento da cultura do trigo são aspectos ligados diretamente a cultivar escolhida para cultivo na lavoura, porém estes componentes podem ser influenciados por diferentes condições de manejo da cultura.

Tabela 5 - Componentes de rendimento da cultura do trigo

Componentes de rendimento	T1	T2	T3	T4
Peso Hectolitro	77,96 b	79,56 a	79,92 a	78,84 ab*
Peso Mil Sementes	33,47 a	31,77 a	32,99 a	35,55 a
Espigas m ²	561 a	455 b	311 c	503 b
Número de espiguetas	15,12 a	14,30 a	14,04 a	14,72 a
Número de grãos por espiga	36,30 a	31,64 a	31,96 a	31,90 a
Produção Mg/há	4,22 a	3,86 ab	3,54 b	4,19 a

*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Ao avaliarmos a Tabela 5, a maior produtividade, em Mg ha^{-1} , foi obtida em T1 ($4,22 \text{ Mg ha}^{-1}$) onde este apresentou a maior média, não diferindo de T4 ($4,19 \text{ Mg ha}^{-1}$) e T2 ($3,86 \text{ Mg ha}^{-1}$) que obtiveram médias intermediárias, porém T1 diferiu significativamente de T3 que obteve $3,54 \text{ Mg ha}^{-1}$, apresentando a menor produção dentre todos os tratamentos. Estes dados corroboram com valores encontrados por Colares *et al* (2008), que ao avaliar a produção de trigo e feijão sob condições de compactação, não encontrando diferença significativa na produção entre o plantio direto e plantio direto com compactação, devido principalmente a ambos os tratamentos não criarem condições limitantes ao desenvolvimento da cultura.

Os maiores rendimentos foram obtidos com graus de compactação de 77 e 85% nos tratamentos plantio direto ($4,22 \text{ Mg ha}^{-1}$) e escarificação ($3,86 \text{ Mg ha}^{-1}$). Porém não houve limitação significativa da produtividade no Tratamento 2, onde o grau de compactação foi de 89%. Em T3, o grau de compactação foi de 92% resultando na menor produtividade observada de $3,54 \text{ Mg ha}^{-1}$.

O número de espigas por m^2 sofreu influência direta dos tratamentos, onde T1 apresentou o maior número final de espigas com 561 plantas por m^2 , diferindo dos demais tratamentos, tendo T3 apresentado a menor população com 311 espigas por m^2 .

Levando em consideração que em T3 foi observada a maior densidade do solo de $1,36 \text{ Mg m}^{-3}$ podemos comparar estes resultados com os obtidos por Bonfim-Silva *et al* (2011), onde o cultivo de trigo em vaso com Latossolo Vermelho observou redução no desenvolvimento e perfilhamento da cultura em densidade de solo superior a $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$. Esta redução na população de plantas em T3 contribui para uma redução na produtividade, uma vez que um reduzido número de perfilho contribui para um menor número de espigas por m^2 .

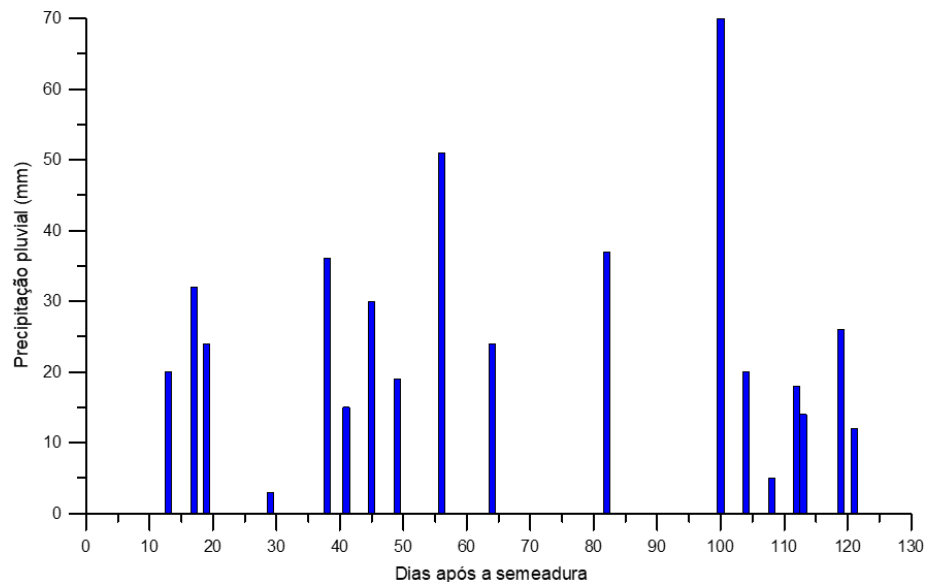
Para o componente peso de mil sementes (PMS) não foi observada diferença significativa nas médias obtidas, desta forma os diferentes tratamentos não interferem neste componente de produção.

Ao avaliar o peso hectolitro (PH) obtido nos tratamentos, observa-se que as posições se invertem, onde o Tratamento 3 obteve a maior média (79,92) não diferindo de T2 (79,56) ou de T4 (78,84), que obteve média intermediária. Porém o Tratamento

1 (plantio direto), apresentou a menor média de (77,96) diferindo significativamente de T3 e T2, mas não diferido de T4. Esta variação difere do que afirma *ORMOND et al*, (2013) onde o peso hectolitro da cultura do trigo varia principalmente de acordo com a cultivar utilizada, não apresentando diferença dentro da cultivar.

O Gráfico 1 apresenta a pluviosidade ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura em dias após a semeadura até o momento da colheita do experimento. A precipitação pluvial teve um total ao final do experimento foi de 456 mm. Segundo *Prado et al*, (2021) para a região da cidade de Passo Fundo, levando em consideração uma evapotranspiração de 3,06 mm/dia a demanda hídrica da cultura do trigo foi de aproximadamente 390 mm.

Gráfico 1 – Índices pluviométricos ao longo do ciclo da cultura do trigo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

CONCLUSÕES

Os atributos macroporosidade, microporosidade e densidade do solo sofreram influência dos tratamentos até a profundidade de 15 cm.

O atributo porosidade total do solo apresentou diferença estatística entre os tratamentos até a profundidade de 20 cm.

Valores de densidade do solo superior a $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ obtidos em T3 e T2 foram limitantes para a produtividade da cultura do trigo.

O grau de compactação médio de 82% obtido no plantio direto é considerado ideal para o desenvolvimento da cultura do trigo.

O grau de compactação médio acima de 91% obtido em T3 foi limitante para o desenvolvimento e produtividade da cultura do trigo

A compactação do solo pelo trator nos dois níveis de trafego T2 e T3 influenciou negativamente nos atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do trigo.

A maior produtividade da cultura do trigo foi obtida em T1 e T4 e a menor foi obtida em T3, com valor intermediário sendo observado em T2.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. *et al.* Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v.20. 319-326, 1996.
- ARAÚJO, E. D. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun, 2004.
- BONFIM-SILVA, E, M. *et al.* Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado. **Centro Científico Conhecer.**, Goiânia, vol.7, N.12, p.1, 2011
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.29, p.789-796, 2005.
- COLARES, G. L. *et al.* Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de Feijão e Trigo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Vol. 32, p. 933-942, 2008.
- CRAWFORD, R. M. M.; BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 47, n. 295, p.145-159. Fev, 1996.
- GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.37, p.1174-1184, 2013.

GIRARDELLO, V. C. *et al.* Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.35, p.2115-2126, 2011.

HAMZA, M.A; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, [S.L], v.82, p.121-145, 2005.

KLEIN, V. A. *et al*, Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2475-2481, dez, 2009.

KLEIN, V. A; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n.3, p.646–650, 2006.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33. n. 2, p. 349-354, 2011.

MARSHALL, T. J. *et al.* Soil Physics. 3. ed. Cambridge: Press syndicate of The University of Cambridge, 1999.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. i: efeitos sobre a absorção de n, p, k, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 940-947, out., 2005.

MELO, D. *et al.* Soil compaction in areas of maize used for silage with the application of wastewater. **Revista brasileira de ciência do solo.**, v. 50, n. 2, p. 205-215, jun, 2019.

MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P.; ATWELL, B. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 52, n. 364, p. 2127–2133, Nov, 2001.

NICOLOSO, R. S.; *et al.* Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista brasileira de ciência do solo.** v. 32, [S.L], p.1723-1734, 2008.

NOGUEIRA, S. S. S.; MANFREDINE, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, n.18, v.9, p.973-976, set, 1983.

ORMOND, A. T. S. *et al.* Análise de características físicas de sementes de trigo. **Centro Científico Conhecer.** Goiânia. v.9, n.17. p. 2013

PRADO, L. A.; *et al.* Resposta do feijoeiro e do trigo a lâminas de irrigação em diferentes condições de solo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS).**, v.11, n.1, p.195-206, maio, 2021.

REICHERT, J. M. *et al.* Hidrologia do solo, disponibilidade de água as plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em Ciência do Solo**, [s. l], n. 7, p. 1-54, jan. 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente.** [S.I], v.27, p.29-48. Dez ,2003.

SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.1, p. 58-64, jan/fev. 2009.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Eficiência operacional de escarificadores em latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.3, p.43-51, mar, 1997.

SILVA, R. B. *et al.* O Tráfego de Maquinas 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.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.25, p.395-401, 2001.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERDT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, mai-jun, 2004.

STRECK, E.V. *et al.* Solos do Rio Grande do Sul. **Livro**, Porto Alegre: ed. 3, 2018.

SUZUKI, L. E. A. S.; *et al.* Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária brasileira.**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; *et al.* Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos**, Brasília DF. 3 ed., 2017

TORMENA, C. A.; *et al.* Densidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, out/dez. 2002.

VESOHOSKI, Fernando *et al.* Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 337-341, jun. 2011.