



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS
CAMPUS CERRO LARGO - RS
CURSO DE AGRONOMIA

**A COBERTURA COM PALHA PODE MINIMIZAR A COMPACTAÇÃO DO SOLO
OCASIONADA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS?**

VALÉRIA ORTAÇA PORTELA

CERRO LARGO – RS

2014

VALÉRIA ORTAÇA PORTELA

**A COBERTURA COM PALHA PODE MINIMIZAR A COMPACTAÇÃO DO SOLO
OCASIONADA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS?**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul – Campus Cerro Largo - RS.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO - RS

2014

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Portela, Valéria Ortaça

A COBERTURA COM PALHA PODE MINIMIZAR A COMPACTAÇÃO DO SOLO OCACIONADA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS?/
Valéria Ortaça Portela. -- 2014.

30 f.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2014.

1. manejo do solo. 2. compactação. 3. propriedades físicas. 4. tráfego de máquinas agrícolas. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

VALÉRIA ORTAÇA PORTELA

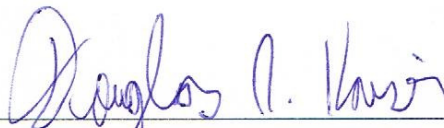
**A COBERTURA COM PALHA PODE MINIMIZAR A COMPACTAÇÃO DO SOLO
OCASIONADA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS?**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Cerro Largo - RS.

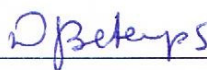
Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2014

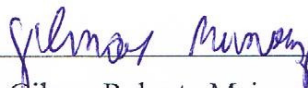
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS



Prof.^a Dra. Débora Leitzke Betemps – UFFS



Prof. Dr. Gilmar Roberto Meinerz – UFFS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. HIPÓTESE DO TRABALHO.....	7
1.2. OBJETIVOS	8
1.2.1. Objetivo geral	8
1.2.1.1 Objetivos específicos.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. MANEJO DO SOLO.....	8
2.2. COMPACTAÇÃO DO SOLO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	10
2.3. MANEJO DE SOLOS COMPACTADOS.....	10
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	12
2.5. IMPORTÂNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE DO SOLO	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	16
3.2. LIMITE DE LIQUIDEZ E ÍNDICE DE PLASTICIDADE.....	17
3.3. DENSIDADE, POROSIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA.....	17
3.4. ANÁLISE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO E AVALIAÇÃO DE UMIDADE	18
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

A compactação do solo em áreas agrícolas tem se intensificado nos últimos anos devido à atividade intensiva do uso do solo sendo apontada como um problema, em especial nas áreas com solos argilosos. A compactação é causada principalmente pelo tráfego de máquinas grandes e pesadas, sem considerar as faixas adequadas de umidade do solo para a realização das operações a campo. A palha na superfície do solo, por criar uma barreira física entre o pneu das máquinas e o solo, pode ser um fator de minimização da compactação. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da palha de aveia em superfície na redução da compactação do solo causada pelo rodado de um trator em diferentes sistemas de manejo. Para implantação do experimento o delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições, onde o fator principal avaliado foi as quantidades de palha (0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha⁻¹) dispostas sobre o solo, e o fator secundário o sistema de preparo e manejo do solo (plantio direto e escarificação (Cultivo mínimo)). As avaliações realizadas após o tráfego com trator agrícola foram de umidade do solo, resistência à penetração, coletas de amostras indeformadas para análise de densidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo na área trafegada e avaliação de umidade do solo. A palha em superfície não exerceu efeito protetor suficiente no solo para evitar a compactação durante o tráfego do trator e a escarificação do solo proporcionou maior suscetibilidade a compactação.

Palavras-chave: Manejo do solo. Compactação. Propriedades físicas. Tráfego de máquinas agrícolas.

ABSTRACT

Soil compaction in agricultural areas has intensified in recent years due to intensive activity of land use being identified as a problem, especially in areas with clay soils. Compression is mainly caused by the traffic of large and heavy machinery without considering the appropriate ranges of soil moisture for the operations in the field. The straw on the soil surface by creating a physical barrier between the tire and the ground the machine can be a minimization of the compression factor. The objective of the study was to evaluate the effect of oat straw surface in reducing soil compaction caused by the shot of a tractor in different management systems. For solarization the experimental design was a randomized block design with four replications, where the main factor was rated the residue amounts (0, 2, 4, 6 and 8 Mg ha⁻¹) arranged on the ground, and the factor secondary preparation system and soil management (tillage and scarification). The evaluations performed after the traffic with tractor were soil moisture, resistance to penetration, collection of undisturbed samples for density analysis, total porosity and soil hydraulic conductivity in the trafficked area and soil moisture assessment. The surface straw exercised insufficient protective effect in the soil to avoid compaction during the tractor traffic and soil chiseling provided greater susceptibility to compaction.

Keywords: Soil management. Compression. Material properties. Agricultural machinery traffic.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção atual busca resultados econômicos satisfatórios, com isso há um grande investimento em máquinas cada vez maiores e mais potentes, havendo maior eficiência no sistema de produção. No entanto, essa agricultura associada à falta de manejo está causando problemas em algumas propriedades físicas do solo, principalmente pelo tráfego contínuo e com alta umidade no solo (Brandt, 2005).

A mecanização facilitou o trabalho no desenvolvimento das atividades agrícolas do homem no campo, porém o tráfego intenso para semeadura tratamentos culturais e colheita trouxe aos solos a compactação (Silva, 2003), ocorrendo principalmente em uma camada encontrada até, no máximo, a 20 cm tanto em áreas agrícolas como em pastagens (Reichert et al., 2007).

A compactação do solo em áreas agrícolas tem sido apontada como um problema no desenvolvimento de plantas, pois afeta as propriedades e funções físicas, químicas e biológicas do solo, prejudicando o crescimento radicular e reduzindo o espaço poroso, diminuindo a aeração e a disponibilidade de água no solo, em especial nas áreas com solos argilosos (Rosim et al., 2012). Além da influência sobre o desenvolvimento vegetal, a compactação causa a diminuição da infiltração de água no solo, que sobre condições de precipitações intensas, favorece o escoamento superficial da água e desencadeando os processos erosivos do solo.

O tráfego de veículos em solo agrícola não segue as mesmas teorias que regem o tráfego em terrenos duros, pois uma série de interações ocorre na relação solo-máquina, pelo contato dos pneus agrícolas com a superfície do solo. O solo em condições adversas ao tráfego apresenta resistência às cargas aplicadas pelos pneus, sem exceder os limites elásticos e sem deformar-se permanentemente. As extensões dessas deformações dependem das características físicas do solo e da pressão que o pneu exerce sobre o solo (Brandt, 2005). A palha na superfície do solo pode criar uma barreira física entre o pneu das máquinas e o solo, pode ser um fator de minimização da compactação e portanto cria condições para que parte da energia de aplicada pelos implementos seja dissipada antes do contato com o solo. Neste sentido destaca-se a importância de pesquisas que avaliem a influência da palhada em superfície nas propriedades físicas do solo e sua relação com a compactação do solo pelas operações de preparo do solo com o maquinário agrícola.

1.1 HIPÓTESE DO TRABALHO

1. A palha reduz a compactação do solo, durante o tráfego contínuo de maquinário agrícola.
2. Solos compactados apresentam redução na macroporosidade e microporosidade e aumento da densidade.
3. A presença da palha pode auxiliar na redução da compactação do solo em qualquer sistema de manejo adotado no solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve por finalidade avaliar o efeito de diferentes quantidades de palha em superfície e sistemas de manejo de solo na redução de compactação do Latossolo Vermelho pelo tráfego de um trator agrícola.

1.2.1.1 Objetivos específicos

1. Avaliar o efeito da palha sobre a alteração da estrutura do solo, principalmente na densidade, porosidade, condutividade hidráulica saturada. Definir em quais quantidades de cobertura vegetal sobre o solo há maior suscetibilidade a degradação das estruturas físicas do solo.
2. Estabelecer um manejo de solo com quantidade adequada de palha e sistema de manejo que minimize danos nas propriedades físicas do solo pela compactação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANEJO DO SOLO

O aumento da população mundial e a má distribuição de alimentos têm levado o homem a intensificar cada vez mais a exploração do meio ambiente para atender às necessidades (Brandt, 2009), conseqüentemente há aumento da competição no sistema de produção agrícola. Neste sentido, a modernização da agricultura possibilitou o uso de máquinas e implementos de alta eficiência, que repercutiu em maior capacidade de trabalho. No entanto, a área de contato pneu-solo nem sempre é corrigida para manter a relação

força/área, resultando em uma menor área de contato no solo para distribuição do peso, ocasionando a compactação do solo, que segundo Roque et al. (2011) prejudica a produtividade das culturas e contribui com os processos erosivos.

O solo é um recurso muito importante no ecossistema, e a manutenção de sua qualidade ganhou importância nos últimos anos. As propriedades físicas do solo influenciam diretamente as características do meio e a escolha do melhor manejo a ser adotado nos cultivos agrícolas. As práticas de manejo utilizadas no solo possuem grande influência nas propriedades físicas do solo e estão relacionados com a compactação (Streck et al., 2004). Neste sentido métodos adotados como manter resíduos vegetais em superfície, rotação de culturas, podem minimizar e/ou evitar a compactação do solo.

A permanência de resíduos vegetais na superfície do solo pode minimizar o impacto causado por máquinas agrícolas e, aumenta em longo prazo o teor de matéria orgânica no solo em sistemas de plantio direto. No entanto, conforme Müller et al.(2011), descuidos quanto às técnicas empregadas na semeadura direta, principalmente em condições de tráfego contínuo de máquinas, com alta umidade no solo, podendo causar alteração na estrutura física do solo, gerando um impedimento ao desenvolvimento radicular da cultura.

Para Brandt (2009) a adoção de plantio direto tem auxiliado na redução da degradação do solo, por conter a erosão. No entanto, há problemas como o intenso uso do solo sob plantio direto, o constante tráfego das máquinas agrícolas sobre o solo têm causado distintos graus de compactação, pois uma maior compactação ocorre nos locais de manobras das máquinas, nas cabeceiras das lavouras, e um grau de compactação menor é observado nas regiões centrais das lavouras. Segundo o mesmo autor esse comportamento também é observado em áreas onde ocorre o pisoteio de animais, a compactação também é desuniforme, pois os animais não permanecem o mesmo tempo parados sobre toda a área de pastagem.

As alterações negativas nas propriedades físicas do solo no sistema semeadura direta, associadas à menor rugosidade superficial, podem facilitar o escoamento superficial da água das chuvas, especialmente se a quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo for pequena e se não forem adotadas práticas conservacionistas de suporte (Bertol et al, 2004).

Os principais fatores que afetam a compactação do solo são o tipo de solo, manejo do solo, condição de umidade no momento das operações agrícolas. A avaliação da compactação do solo requer estudos e determinação de limites críticos de diversas propriedades do solo, as quais, dependendo das condições climáticas, do manejo do solo e do tipo de planta, podem variar de ano para ano (Silva, 2003). Além disso, para Lopes et al. (2011) torna-se necessária a realização de mais estudos para o melhor entendimento dos fatores que explicam esse

processo, possibilitando subsidiar o planejamento para a execução das operações de forma eficiente e ambientalmente correta.

2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A compactação é um processo pelo qual o solo sofre diminuição do volume, aumento da densidade e mudança estrutural, devido às constantes pressões exercidas pelas máquinas agrícolas e animais (Brandt, 2009). Conforme esse mesmo autor, o solo possui uma conformação estrutural, capaz de propiciar adequado suprimento de ar, água e nutrientes, mas quando se tem o rompimento do arranjo estrutural, ocorre uma alteração das condições de aeração e umidade, podendo dessa forma alterar o desenvolvimento das culturas.

Solos cultivados, não saturados, são particularmente influenciados por problemas de compactação, que ocorre quando a pressão aplicada por rodados de máquinas e, ou, pisoteio animal ultrapassa a sua capacidade de suporte de carga, gerando deformações plásticas na sua estrutura, perdurando por anos. A magnitude dessas deformações depende de fatores extrínsecos, como tipo e massa das máquinas, tipo de rodados e pneus, carga sobre pneus e pressão de insuflagem, velocidade de deslocamento e tipo de cobertura vegetal no solo (Mazurana et al., 2013). Fatores como a elasticidade do solo e teor de carbono orgânico podem amenizar a compactação. No estudo realizado por Braida et al. (2008) em que se avaliou o efeito do teor de água e do enriquecimento de carbono orgânico sobre a elasticidade de dois solos confirma que a elasticidade do solo é afetada pela variação da sua umidade, assim como pelo teor de carbono orgânico e pela densidade, o aumento no teor de carbono orgânico resultam em aumento da elasticidade do solo minimizando os impactos da compactação nas propriedades físicas da compactação.

A compactação causada pelo uso intensivo do solo no sistema de produção limita o desenvolvimento do sistema radicular da planta no solo, sendo necessárias soluções que minimizem os problemas na estrutura física do solo e aumentem a eficiência operacional desses equipamentos agrícolas. Neste sentido, é importante a identificação da magnitude e profundidade da compactação do solo pelo tráfego para dimensionar o peso das máquinas agrícolas, ou indicar práticas de gestão adequadas para aumentar a capacidade de suporte do solo (Moraes et al., 2013).

2.3 MANEJO DE SOLOS COMPACTADOS

No Brasil, como no resto do mundo, há grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com problemas de compactação, o que se deve em grande parte às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade ideal do solo. Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura. Além das modificações na porosidade e densidade, o manejo provoca alterações na estrutura do solo, que afetam a retenção de água e a resistência mecânica (Vieira et al., 2007).

Atualmente se observa a procura por métodos alternativos de mitigação da compactação do solo para aqueles tradicionalmente empregados, tendo sido preconizado o emprego de semeadoras equipadas com sulcador do tipo facão associado ao disco de corte, para descompactação na linha de semeadura. Sistemas dessa natureza permitem a mitigação da compactação do solo mediante o aumento da porosidade e a redução da densidade e da resistência mecânica do solo à penetração no local específico onde crescerão as raízes da planta cultivada, mas com efeito significativo quando a compactação estiver restrita à camada superficial (Drescher et al., 2011).

O sistema plantio direto, no qual a semeadura é realizada em solo coberto por palha e, portanto, com o mínimo de revolvimento da camada superficial do solo, tende a minimizar a formação de camadas compactadas no solo, apesar disso, a utilização continuada do plantio direto pode resultar em aumento da densidade do solo. Neste sentido a escarificação é apontada como uma ferramenta para proporcionar a descompactação do solo, mas não se sabe a duração de seus efeitos e de que forma estes atuam ao longo do tempo sobre o movimento da água no solo (Vieira et al., 2007).

No trabalho de Drescher et al. (2011) com a finalidade de avaliar a duração do efeito de intervenções mecânicas, como a aração e escarificação do solo, associadas à ação de semeadora de plantio direto equipada com mecanismos rompedores de solo tipo discos e discos mais facão, permitiu concluir que onde a intervenção mecânica em solo manejado sob Sistema Plantio Direto, mediante a aração ou a escarificação, mostrou potencial efêmero para mitigar a compactação do solo. Além de o mecanismo rompedor de solo tipo disco mais facão mostrou-se mais efetivo em alterar os atributos avaliados do que a intervenção mecânica com aração ou escarificação.

Koakoski et al. (2007) realizou outro trabalho semelhante objetivando estudar o efeito de dois mecanismos rompedores e três níveis de pressões aplicadas pela roda compactadora, sobre o desempenho e uma semeadora-adubadora na implantação da cultura da soja, em plantio direto sob três teores de água no solo. O trabalho concluiu que a adoção de mecanismo

rompedor de solo disco + facção que equipa semeadora para plantio direto pode aumentar 24,3 % na porosidade do solo, e comparado a intervenção mecânica com aração, proporcionou maior profundidade de deposição de sementes, menor distância entre sementes e menor resistência à penetração comparada a adoção exclusiva de discos.

Por meio disso o uso de mecanismos rompedores do solo constitui se como uma medida de descompactação do solo, no entanto deve ser associada a outras medidas, como cultivo de culturas de elevada produção de biomassa e de abundante sistema radicular, com implantação de um sistema de rotação de cultura, realizar o manejo e controle do tráfego de máquinas na lavoura em umidade adequada. Os efeitos benéficos dessa prática dependem do manejo adotado após a descompactação.

Portanto a escarificação pode ser interessante como prática de correção da compactação, mas em longo prazo deve implantar na área um sistema de rotação de culturas e manejar as atividades agrícolas de modo a evitar a compactação, com isso a escarificação física do solo pode ser aplicada como uma transição do preparo convencional ou plantio direto à um sistema de plantio direto na palha de qualidade, e não como uma prática a ser executada regularmente.

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Os problemas com a compactação do solo já são antigos e a modernização da agricultura acentuou este processo. A camada de 0 a 20 cm é onde ocorrem os maiores níveis de compactação do solo no plantio direto. No plantio convencional, essa camada compactada ocorre em maiores profundidades pelo tráfego e contato dos implementos com o solo subsuperficial, já no sistema plantio direto ou em pastagens, a compactação do solo fica mais restrita à sua superficial (Reichert et al. 2007).

A estrutura do solo é um atributo edáfico que serve como referência aos estudos do solo no campo, pois influencia praticamente em todos os fatores que se relacionam com o potencial produtivo do solo, como disponibilidade de água, nutrientes, aeração, atividade microbiana (fungos, bactérias, micorrizas e nematoides), germinação de sementes, penetração de raízes, entre outros, ou seja, quase tudo no solo gira em torno da estrutura, assim, a densidade e a porosidade do solo são indicadores de como a estrutura do solo apresenta-se para um melhor desenvolvimento das culturas. O manejo e o cultivo são um dos principais problemas no desenvolvimento agrícola podendo ocasionar decréscimos significativos na

produtividade devido à compactação do solo decorrente do tráfego de máquinas pesadas (Sousa, 2013).

A compactação do solo é um grave problema para a qualidade do solo e o desenvolvimento da agricultura, pois altera os fluxos de água e ar no solo e reduz a produtividades das culturas agrícolas. A formação estrutural, ou do arranjo espacial das partículas do solo, dá origem aos poros, com importantes consequências para o comportamento físico do solo, tais como: a percolação e a difusão de fluidos, a resistência mecânica à ruptura e a penetração de raízes (Viana et al., 2004).

Os atributos físicos como textura do solo possuem influência direta na compactação do solo. Secco et al. (2009), enfatiza que em solos de textura argilosa manejados sob sistema plantio direto, tem sido verificado maiores problemas de compactação que em solos de textura arenosa, embora afirme que solos, cuja constituição seja de partículas de tamanhos similares são mais susceptíveis ao processo de compactação, mas, em solos de textura argilosa em relação aos arenosos, há maior retenção de água por apresentarem maior volume de microporos, o que, em função do tipo, formato e tamanho dos argilominerais, pode predispor o solo a atingir um estado de compactação mais elevado.

Cada solo possui características e peculiaridades específicas, neste sentido o manejo a ser empregado deve levar em conta esses fatores como tipo de solo, estrutura dos agregados, teor de matéria orgânica entre outros, que influenciaram no potencial produtivo do solo.

2.5 IMPORTÂNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO EM SUPERFÍCIE

A escolha de sistema de cultivo é complexa, e varia conforme a região, tipo de solo e condições climáticas (Kamimura, 2008). Dessa forma, métodos de preparo de solo e sistemas de manejo da cobertura vegetal tornam-se ferramentas importantes no auxílio da conservação do solo. Conforme Brandt (2009) quando o preparo do solo era realizado da maneira convencional, a camada compactada era rompida pelos implementos utilizados no preparo do solo, transferindo assim a compactação para maiores profundidades, em razão do tráfego e contato dos implementos com o solo da camada subsuperficial.

Nos sistemas de produção agrícolas, muitas espécies de culturas anuais são utilizadas no sistema de manejo do solo para sucessão e rotação de culturas com geração de diferentes quantidades e características de resíduos que são decompostos no solo. Algumas espécies como as gramíneas possuem resíduos com decomposição mais lenta no ambiente (Crusciol, 2005), permanecendo mais tempo no solo sendo utilizada no sistema de manejo do solo para

obter resíduos vegetais de cobertura, assim confere melhor proteção do solo.

A presença de palha na superfície do solo no momento da implantação de culturas no sistema pode criar condições para a redução do impacto causado pelo tráfego de máquinas, assim como fazer com que a energia contida no rodado seja dissipada antes do contato com o solo, minimizando dessa forma a compactação (Rosim, 2007). A adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto, geralmente, ocorreu em solos que já apresentavam problemas físicos como a degradação e a redução da matéria orgânica (Brandt, 2009).

Para a manutenção de uma camada de palhada em superfície é importante a escolha de culturas que possuem alta produção de massa, por meio disso na tomada de decisão para escolha das culturas a serem implantadas no sistema de rotação deve se conhecer suas características, e caso tenha baixa produção de massa deve se realizar associação de mais de uma cultura.

O uso de plantas de cobertura de solo é uma alternativa ecológica e econômica de conduzir o solo, possibilitando equilíbrio das propriedades físicas, químicas e biológicas que giram em torno do sistema solo-planta, tendo por finalidade formar cobertura morta e proteger o solo contra o impacto da água diminuindo o risco de erosão e tornando o ambiente mais propício na reciclagem dos nutrientes. Neste sentido o uso de consorcio de plantas envolvendo leguminosas e gramíneas, além de contribuir para produção de biomassa para cobertura do solo, concilia a proteção com adubação do solo. A tabela abaixo apresenta a produção de Mg ha⁻¹ de algumas leguminosas e não leguminosas utilizadas nos sistemas de produção agropecuária do sul do Brasil.

Tabela 1. Produção de Matéria seca da parte aérea de culturas anuais.

Espécie	Parte aérea (Mg ha ⁻¹)
	Florescimento
Feijão	4,73
Soja	9,70
Mucuna	5,74
Ervilhaca	3,67
Girassol	12,05
Milho	7,77
Sorgo	8,04
Milheto	22,48
Nabo forrageiro	4,29
Aveia branca	4,75
Aveia preta	7,98
Azevém	5,48
Trigo	6,34
Canola	2,76

Fonte: (REDIN, 2014,); (CRUSCIOL, et al, 2005).

As gramíneas possuem alta produção de palhada, sendo usadas para cultivo e produção de palha em superfície para dar suporte no sistema plantio direto. No período de inverno o cultivo de gramíneas é realizado em alguns sistemas de produção sob semeadura direta, como por exemplo, a aveia, caracterizada por apresentar uma decomposição mais lenta, permanecendo mais tempo no solo o que lhes confere melhor proteção do solo.

Mesmo com o uso do plantio direto com o tempo essas áreas começaram a apresentar problemas relacionados ao comportamento estrutural do solo, com a redução do espaço poroso o que causa implicação sobre a movimentação da água e gases no seu interior. Neste sentido, a busca de estratégias simples que reduzem o processo de compactação do solo em condições de campo devem ser buscadas e difundidas entre os agricultores (Brandt, 2009). Com a intensificação do uso do plantio direto, solos que apresentam compactação e não são manejados antes da implantação do plantio direto passam a apresentar compactação nas camadas mais profundas formando barreira para o desenvolvimento das raízes das plantas.

Conforme o estudo realizado por Braida et al., (2006) o acúmulo de matéria orgânica, proporcionado por diferentes sistemas de manejo do solo, reduziu a densidade máxima obtida em ensaios de laboratório e aumentou a umidade crítica para ocorrer a compactação do solo, dissipando parte da energia de compactação, confirmando a hipótese de que a palha existente sobre o solo foi capaz de absorver parte da energia de compactação produzida pelo trânsito de máquinas e animais. No entanto a eficácia dessa capacidade dependeu da quantidade de palha, da energia aplicada e das condições do solo. O mesmo foi analisado por Rosim et al (2012) em seu trabalho que avaliou o efeito da quantidade e do manejo de palha em superfície na redução da compactação do solo na adoção de sistema plantio direto a palha em superfície reduziu a resistência à penetração e aumentou a umidade do solo. Além disso, em maiores quantidades de palha ocorreram menores valores de resistência à penetração, evidenciando o efeito da palha em superfície na redução da compactação.

A camada superficial de 0-5 cm do solo sob plantio direto apresenta baixa densidade e elevada porosidade total, graças à ação dos discos da semeadora-adubadora, maior concentração de raízes e de matéria orgânica, maior atividade biológica e mais ciclos de umedecimento e secagem (Silva, 2003). A infiltração de água no solo é influenciada por características na camada superficial do solo, tais como restos culturais na superfície ou parcialmente incorporados, cultura implantada, rugosidade superficial, porosidade e umidade inicial. Por meio disso no plantio direto a infiltração de água é facilitada por apresentar uma camada de palha protegendo a superfície contra o impacto das gotas de chuva, que evita o selamento superficial, e uma camada de palha parcialmente decomposta e parcialmente

incorporada, que facilita a entrada da água no solo. No entanto no preparo convencional, quando realizado de forma inadequado com alta umidade no solo, forma-se uma camada subsuperficial de compactada, tanto para o crescimento radicular como para a passagem da água da camada superficial para o interior do perfil. Nessas situações é comum a ocorrência de erosão do solo onde praticamente toda a camada mobilizada é removida da lavoura.

Por meio disso destacamos a importância de estudos que busquem estratégias simples que reduzem o processo de compactação do solo em condições de campo. Desta maneira este trabalho busca avaliar se a hipótese que a manutenção de uma determinada quantidade de palha sobre o solo, ajuda a dissipar a pressão exercida pelas máquinas agrícolas.

3 MATERIAI E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para atingir o objetivo proposto e avaliar a hipótese foi montado um experimento na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Cerro Largo -RS. O solo da área experimental pertence à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) e possui 583 g kg^{-1} de argila, 324 g kg^{-1} de silte e 93 g kg^{-1} de areia na camada de 0 a 30 cm, classe textural argilosa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. As dimensões das parcelas foram de 2 x 2 m, sendo quatro repetições para cada tratamentos. Os tratamentos foram diferentes quantidades de palha de aveia: 0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha^{-1} , dispostas sobre o solo em duas condições de manejo: plantio direto por 20 anos e escarificação. A escarificação foi realizada 3 meses antes da distribuição da palha sobre o solo, com um escarificador de 7 hastes. Nesse período após a escarificação ocorreu emergência de plantas espontâneas nas parcelas com manejo escarificado e plantio direto, por meios disso após as condições ideais para distribuição das quantidades de palha, as parcelas foram capinadas manualmente para retiras a vegetação e rasteladas, por meio disso as parcelas foram homogeneizadas para a disposição da palha e avaliação do efeito protetor das diferentes quantidades de palha.

A palha colocada em superfície foi de feno de aveia, uma das principais plantas usadas para fornecer cobertura para dar suporte ao plantio direto, além de possuir uma decomposição mais lenta no sistema. As quantidades de palha escolhida de 0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha^{-1} , justificam se por serem essas as massas atingidas na região de abrangência da Universidade Federal Fronteira Sul – Campus Cerro Largo.

Após a montagem do experimento a campo, a distribuição da quantidade de palha foi feita três dias após a ocorrência de uma chuva que elevou o conteúdo de água do solo próximo da capacidade de campo. O tráfego foi realizado com trator agrícola New Holland 75 TL, versão plataformada com peso de 3.390 kg (4x4), com comprimento total de 4,027 m e de largura total de 1,850 m.

A simulação de tráfego foi realizada quando a umidade do solo estava próxima a capacidade de campo, que representa a condição mais comum de entrada de máquinas agrícolas na região noroeste do RS. No solo foram avaliados a densidade, a porosidade, a condutividade hidráulica saturada, de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (1979). Para isso, antes e após o tráfego, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e de 15- 20 cm de profundidade. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com anéis metálicos com dimensões conhecidas (4 cm de altura e 6 cm de diâmetro). As avaliações físicas do solo realizadas antes do tráfego do trator representam a condição física inicial da área, sendo considerada como testemunha, para avaliar a magnitude do efeito da palha sobre o solo trafegado.

3.2 LIMITE DE LIQUIDEZ E LIMITE DE PLASTICIDADE DO SOLO

O limite de liquidez do solo foi determinado por meio da metodologia descrita por Embrapa (1979), pela determinar o teor de umidade do solo referente à mudança do estado líquido para o estado plástico, utilizando-se a energia de resistência ao cisalhamento, por meio do auxílio aparelho de Casagrande.

O limite de plasticidade do solo foi determinado pelo teor de umidade de um solo referente à mudança do estado plástico para o estado semissólido através de ensaio mecânico (Embrapa, 1979). O valor de umidade do solo onde ele se torna plástico representa a condição de umidade onde o solo apresenta a maior suscetibilidade à compactação pelo tráfego de máquinas agrícolas sobre o solo.

3.3 DENSIDADE, POROSIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA

Para avaliação de porosidade as amostras foram preparadas, com corte do bloco de solo contido em anel de alumínio rente a borda do cilindro, com espátula, e fixado por uma borracha na extremidade inferior do cilindro um pedaço de tecido (Embrapa, 1979), após as amostra foram pesadas e colocadas para saturar em bandejas, sendo que o nível de água foi

elevado gradualmente. Após as amostras estarem saturadas, foram pesadas para obtenção do peso de solo saturado e colocadas na mesa de tensão (coluna de areia) sob uma tensão de 60 cm, (-0,006 MPa), provocando drenagem da água retida nos macroporos do solo, através de sucção provocada pelo vácuo formado na mesa de tensão (Embrapa, 1979).

Para avaliar a condutividade hidráulica saturada, as amostras foram novamente saturadas após a avaliação na coluna de areia. As amostras saturadas foram sobrepostas com anéis de mesmo tamanho e fixados com fita, de maneira que fosse possível manter um nível de água constante, para avaliar a condutividade das amostras por três minutos.

Para avaliar a densidade, após realizada a avaliação de condutividade as amostras foram mantidas em bandeja e após 24 horas, foram secadas em estufa a 105°C e, após 48 horas e pesadas. Os cálculos da condutividade hidráulica do solo saturado, da distribuição de poros (porosidade total, macroporosidade e microporosidade) e da densidade do solo foram feitos de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (1979).

3.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMIDADE

A avaliação de umidade gravimétrica foi realizada para indicar a condição de umidade do solo onde foi executada a atividade. Para isso, foram realizadas coletas de amostras de solo para avaliação de umidade gravimétrica, nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidades e acondicionadas em latas de alumínio e de peso conhecido. Após, essas amostras foram pesadas e secadas em estufa por 48 horas, a 105 °C.

A resistência à penetração do solo foi determinada utilizando-se o Medidor Eletrônico de Resistência do solo (Penetrômetro) a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,60 m.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Com a avaliação dos dados, analisando-se a influência da palhada em superfície no solo e definiu-se qual a quantidade adequada para que não ocorra degradação física do solo pelo tráfego de máquinas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade volumétrica do solo no dia do tráfego com o trator agrícola foi semelhante em ambos os sistemas de preparo do solo (Tabela 1), aumentando conforme a profundidade. Os valores de umidade volumétrica ficaram entre $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, que corresponde à umidade na capacidade de campo para esse solo que é $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Kaiser et al., 2009). Nessas condições de umidade, o solo ainda apresenta-se em estado plástico (Tabela 2), o que pode favorecer o rearranjo das partículas pela pressão exercida pelos pneus das máquinas agrícolas, resultando no aumento do estado de compactação do solo.

Tabela 1 - Valores médios de umidade volumétrica do solo no dia do tráfego com o trator agrícola.

Camada (m)	Sistema de preparo	
	Plantio Direto	Escarificado
	Umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
0,00-0,10	0,37	0,31
0,10-0,20	0,38	0,35
0,20-0,30	0,40	0,36

O limite de plasticidade representa a umidade do solo no seu estado de consistência plástica, que representa a condição onde o rearranjo das partículas do solo é favorecido pela ação da água, tornando o solo mais suscetível a compactação pela pressão exercida pelos pneus das máquinas agrícolas. Para o solo estudado, a umidade do solo no estado plástico variou de 0,30 a $0,33 \text{ g g}^{-1}$, em base gravimétrica, e de $0,37$ a $0,44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, considerando em base de volume de água. No momento do tráfego com o trator agrícola sobre as parcelas, a umidade volumétrica do solo estava na faixa de plasticidade, o que favorece o processo de compactação. O índice de plasticidade do solo está relacionado a variação de umidade no solo necessária para a mudança do estado plástico para semi-sólido (Tabela 2). Na camada de 0,00-0,10 m o solo apresenta o índice de 23,31 diminuindo conforme aumenta a profundidade do solo.

O limite de liquidez representa a quantidade de água no solo necessária para o solo apresentar uma consistência muito pegajosa, próxima a liquidez, tornando o solo grudento nos implementos agrícolas, e não deixando ele se compactar. Esses valores estão na tabela 2, e mostram que são muito acima dos valores de umidade do solo nas condições em que foi realizado o tráfego sobre as parcelas.

Tabela 2 - Valores médios de umidade do solo no limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade do solo.

Camada (m)	Limite de Plasticidade		Limite de Liquidez		Índice de Plasticidade (base gravimétrica)
	g g^{-1}	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	g g^{-1}	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	
0,00-0,10	0,30	0,37	0,50	0,61	23,31
0,10-0,20	0,29	0,39	0,43	0,57	17,35
0,20-0,30	0,33	0,44	0,44	0,60	15,09

As pressões exercidas pelos pneus do trator sobre o solo aumentaram significativamente a densidade do solo na camada de 0,05 a 0,10 m, no plantio direto (Tabela 3). Isso demonstra que nessa condição de umidade, o solo sob plantio direto, tem um aumento do seu estado de compactação devido a pressão exercida pelos pneus sobre o solo. A camada superficial do solo (0 a 0,05 m) não teve alterações significativas na densidade e distribuição de poros, o que pode ser ocasionado pelo maior teor de matéria orgânica, que confere certa elasticidade ao solo, tornando-o menos suscetível a compactação (Braidá et al., 2008) e também pela transmissão de pressão dos pneus do trator se concentrar na camada de 5 a 10 cm de profundidade no solo.

Tabela 3 - Valores médios de densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo das parcelas sob Plantio Direto, antes (testemunha) e após o tráfego com o trator agrícola.

Camada (m)	Quantidade de palha sobre o solo (Mg ha ⁻¹)						CV(%)
	Testemunha ¹	0	2	4	6	8	
Densidade do solo (Mg m⁻³)							
0,00- 0,05	1,18 a ²	1,30 a	1,27 a	1,22 a	1,27 a	1,35 a	6,23
0,05 -0,10	1,28 b	1,43 a	1,38 ab	1,37 ab	1,36 ab	1,41 a	3,65
0,10- 0,15	1,30 b	1,44 a	1,37 ab	1,37 ab	1,36 ab	1,34 ab	4,10
0,15- 0,20	1,36 a	1,35 a	1,37 a	1,38 a	1,34 a	1,35 a	5,10
Porosidade total do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,58 a	0,54 a	0,55 a	0,56 a	0,55 a	0,52 a	5,28
0,05 -0,10	0,55 a	0,49 b	0,51 ab	0,51 ab	0,52 ab	0,50 b	3,33
0,10- 0,15	0,54 a	0,49 b	0,52 ab	0,52 ab	0,52 ab	0,53 ab	3,77
0,15- 0,20	0,52 a	0,52 a	0,52 a	0,53 a	0,52 a	0,53 a	4,83
Macroporosidade do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,19 a	0,14 ab	0,13 ab	0,16 ab	0,13 ab	0,06 b	36,46
0,05 -0,10	0,15 a	0,11 a	0,07 a	0,11	0,11 a	0,08 a	40,11
0,10- 0,15	0,15 a	0,07 a	0,11 a	0,07 a	0,11 a	0,12 a	39,65
0,15- 0,20	0,11 a	0,10 a	0,11 a	0,09 a	0,08 a	0,12 a	44,79
Microporosidade do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,38 b	0,41 ab	0,42 ab	0,40 ab	0,42 ab	0,46 a	6,93
0,05 -0,10	0,38 a	0,42 a	0,38 a	0,43 a	0,41 a	0,42 a	8,35
0,10- 0,15	0,39 a	0,43 a	0,40 a	0,45 a	0,41 a	0,41 a	7,91
0,15- 0,20	0,42 a	0,42 a	0,41 a	0,44 a	0,43 a	0,41 a	6,42

¹ A testemunha representa a condição do solo antes do tráfego com o trator. ² Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A presença de palha sobre o solo não dissipou a pressão exercida sobre o solo, e os valores de densidade e distribuição de poros não foram significativamente alterados nos tratamentos sem palha na superfície, em relação aos tratamentos que receberam de 2 a 8 toneladas de palha (Tabela 3). Dessa forma, para o solo sob plantio direto, a presença de palha não reduz o processo de compactação do solo pelo tráfego, quando a umidade do solo está próxima a capacidade de campo. Os valores de densidade do solo ficaram acima de 1,3 Mg m⁻³ nas camadas de 0,05 a 0,20 m, o que em solos argilosos, já indica um estado de compactação elevado, podendo prejudicar o crescimento radicular das plantas (Reichert et al., 2007).

A escarificação do solo sob plantio direto tem sido frequentemente usada como forma de reduzir o estado de compactação do solo em áreas sob plantio direto. Nesse estudo, a escarificação reduziu a densidade e aumentou a macroporosidade e a porosidade total do solo na camada de 0 a 0,10 m (Tabela 4). No entanto, quando o solo escarificado foi trafegado com

o trator, mesmo com palha sobre o solo, ocorreu um aumento acentuado do estado de compactação, o que é demonstrado pelo aumento nos valores de densidade e redução da macroporosidade e da porosidade total no solo na camada de 0 a 0,10 m. Dessa forma, o estado inicial do solo e a umidade desse estão relacionados a suscetibilidade a compactação, (Carvalho Filho et al. 2007).

Tabela 4 - Valores médios de densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo das parcelas sob Escarificação (Cultivo mínimo), antes e após o tráfego com o trator agrícola.

Camada (m)	Quantidade de palha sobre o solo (Mg ha ⁻¹)					CV(%)	
	Testemunha ¹	0	2	4	6		8
Densidade do solo (Mg m⁻³)							
0,00- 0,05	1,13 b	1,35 a	1,34 a	1,35 a	1,36 a	1,35 a	4,93
0,05 -0,10	1,06 b	1,41 a	1,38 a	1,34 a	1,40 a	1,40 a	2,50
0,10- 0,15	1,25 a	1,41 a	1,39 a	1,34 a	1,34 a	1,37 a	5,48
0,15- 0,20	1,34 a	1,39 a	1,37 a	1,36 a	1,38 a	1,42 a	5,01
Porosidade total do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,60 a	0,52 b	0,52 b	0,52 b	0,52 b	0,52 b	4,60
0,05 -0,10	0,63 a	0,50 b	0,52 b	0,53 b	0,51 b	0,51 b	2,27
0,10- 0,15	0,56 a	0,51 a	0,51 a	0,53 a	0,53 a	0,57 a	9,28
0,15- 0,20	0,53 a	0,51 a	0,52 a	0,52 a	0,52 a	0,50 a	4,92
Macroporosidade do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,23 a	0,08 b	0,10 b	0,08 b	0,08 b	0,10 b	44,33
0,05 -0,10	0,28 a	0,07 b	0,10 b	0,11 b	0,07 b	0,06 b	21,27
0,10- 0,15	0,16 a	0,06 a	0,09 a	0,10 a	0,12 a	0,14 a	51,12
0,15- 0,20	0,11 a	0,05 a	0,09 a	0,09 a	0,07 a	0,06 a	48,26
Microporosidade do solo (m³m⁻³)							
0,00- 0,05	0,36 b	0,44 a	0,42 ab	0,44 a	0,44 ab	0,42 ab	8,30
0,05 -0,10	0,34 b	0,43 a	0,42 a	0,42 a	0,43 a	0,45 a	5,14
0,10- 0,15	0,40 a	0,45 a	0,42 a	0,43 a	0,41 a	0,43 a	7,54
0,15- 0,20	0,42 a	0,46 a	0,43 a	0,43 a	0,44 a	0,44 a	5,79

¹ A testemunha representa a condição do solo antes do tráfego com o trator. ² Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores de densidade ficaram acima de 1,3 Mg m⁻³ e a macroporosidade abaixo de 0,10 m³m⁻³, o que pode comprometer o crescimento radicular e a infiltração de água e as trocas gasosas no solo (Reinert et al., 2007). Os valores de microporosidade após o tráfego em comparação as testemunhas tiveram um aumento, enquanto que os valores de macroporosidade possuíram uma redução, indicando que transferência da carga aplicada pelos pneus do trator agrícola contribuiu para aproximação de agregados do solo e aumento no volume de microporos, o mesmo foi observado por Collares et al. (2008). Dessa forma, apesar

da escarificação ser uma alternativa imediata para reduzir o estado de compactação do solo, ela favorece a reconsolidação do solo, pois reduz a capacidade de suporte de carga do solo, favorecendo a compactação pelos pneus do trator.

A formação da estrutura, ou do arranjo espacial das partículas do solo, contribui para a formação dos poros, determinando a resistência mecânica à ruptura e a penetração de raízes no solo (Viana et al., 2004). Neste sentido, a escarificação deixa o solo desestruturado, favorecendo a compactação. A presença de palha sobre o solo escarificado não ofereceu proteção contra as pressões exercidas pelos pneus, o que demonstra que uma condição de solo desestruturado e sob alta umidade, favorece a compactação do solo, e perde-se o efeito benéfico da escarificação em curto prazo (Silva et al., 2012). Portanto, o estado de compactação inicial e a condição de umidade do solo são os principais fatores que controlam o processo de compactação, e a presença de palha sobre o solo não é suficiente para evitar esse processo em solos argilosos sob umidade na condição de capacidade de campo.

A condutividade hidráulica do solo saturado teve uma alta variabilidade na condição de umidade, onde os trafego foi realizado, apresentando um coeficiente de variação acima de 200%, e dessa forma, não houve diferença estatística significativa entre as condições de preparo do solo e também em função da quantidade de palha sobre o solo (Tabelas 5 e 6). A condutividade hidráulica do solo saturado não se apresenta como um bom indicador para esse tipo de avaliação, devido a sua alta variabilidade espacial.

Tabela 5 - Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado das parcelas sob Plantio Direto, antes e após o trafego com o trator agrícola.

Camada (m)	Quantidade de palha sobre o solo (Mg ha ⁻¹)						CV(%)
	Testemunha	0	2	4	6	8	
Condutividade Hidráulica (mm)							
0,00- 0,05	476,0	10,9	40,7	140,3	24,3	0,0	224,17
0,05 -0,10	430,3	55,5	24,8	2,70	9,8	2,9	258,96
0,10- 0,15	16,50	17,4	489,0	18,9	16,7	0,1	284,78
0,15- 0,20	8,29	9,28	0,0	19,9	43,8	3,1	268.23

Tabela 6 - Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado das parcelas sob Escarificação, antes e após o tráfego com o trator na avaliação na primeira condição de umidade.

Camada (m)	Quantidade de palha sobre o solo (Mg ha-1)						CV(%)
	Testemunha	0	2	4	6	8	
	Condutividade Hidráulica (mm)						
0,00- 0,05	511.4	0,1	0,4	0,0	1,8	10,8	249,5
0,05 -0,10	564.6	35,4	6,6	22,7	0,2	7,2	309,6
0,10- 0,15	45.0	29,9	2,5	3,3	122,5	9,6	323,7
0,15- 0,20	0.8	0,0	1,4	7,5	3,7	1,0	258,1

Os valores de resistência a penetração não apresentaram diferença significativa, entre as condições de preparo do solo antes e após o tráfego com o trator agrícola e as diferentes quantidades de palha em cada manejo (Figura 1 e 2, Figura 3 e 4).

A resistência varia diretamente com a densidade do solo e o conteúdo de água do solo, pois esse comportamento tem dificultado a interpretação das avaliações de resistência se esses fatores não forem levados em conta. Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas, dificultando comparações entre sistemas de manejo (Beltrame et al., 1981).

Nas parcelas com plantio direto após o tráfego com trator agrícola ocorreu uma compactação na camada de 0 -20 em comparação ao valor de resistência antes do tráfego, na camada de 0-5 cm a compactação se manteve menor que 2 MPa (Letey, 1985), neste sentido a resistência a penetração no solo tende a aumentar com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular (Carvalho Filho et al ., 2007).

Figura 1 - Valores médios de resistência a penetração do solo das parcelas sob Plantio Direto, antes do tráfego com o trator.

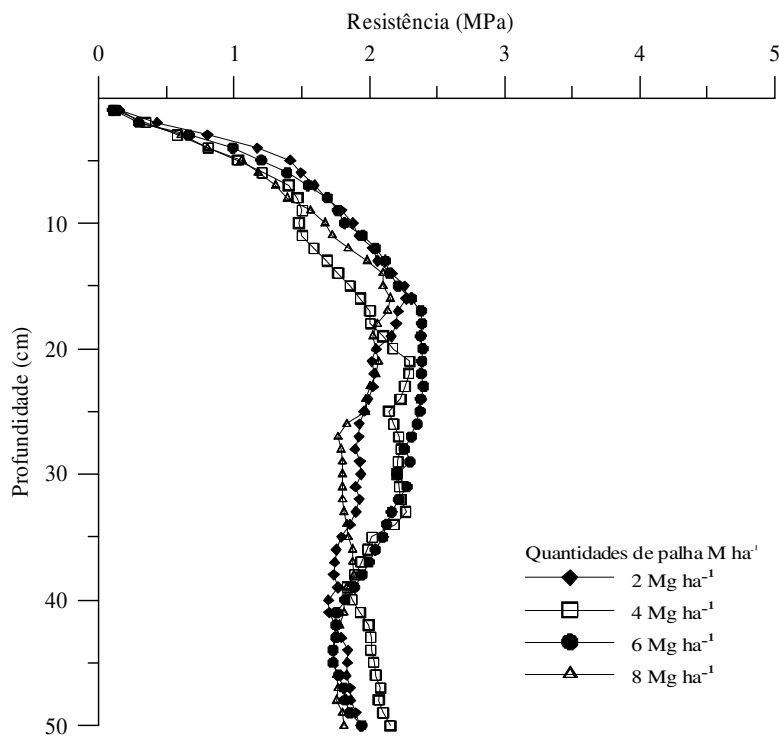


Figura 2 - Resistência a penetração do solo após o tráfego com trator agrícola no Plantio Direto.

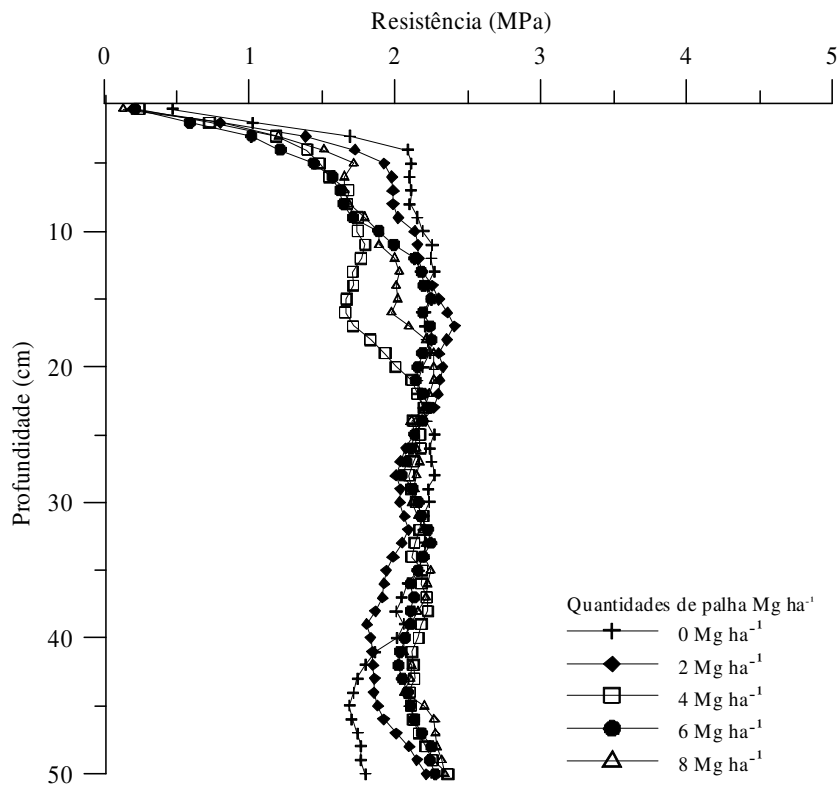


Figura 3 - Resistência a penetração do solo antes do tráfego com trator agrícola na Escarificação (Cultivo mínimo).

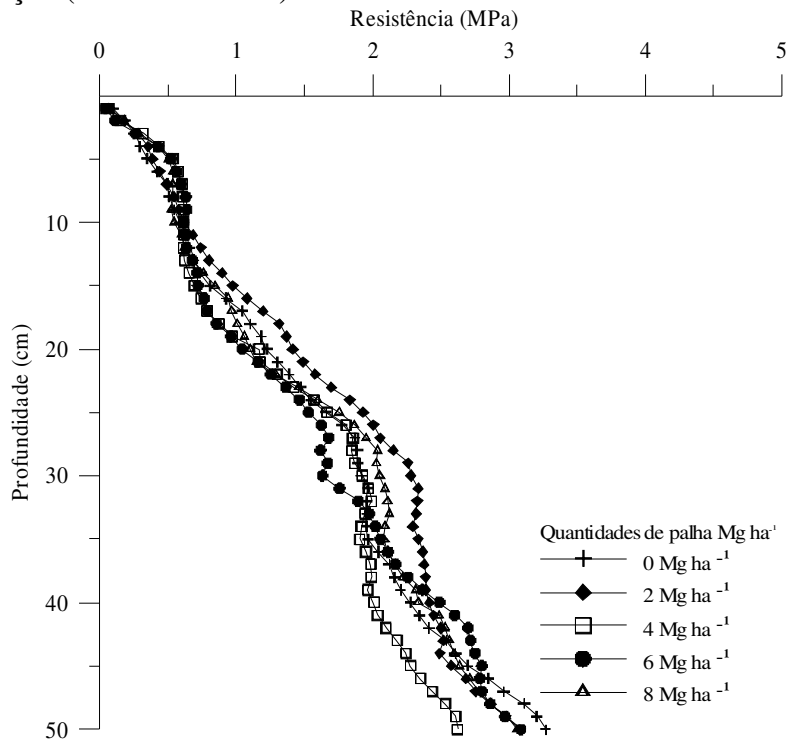
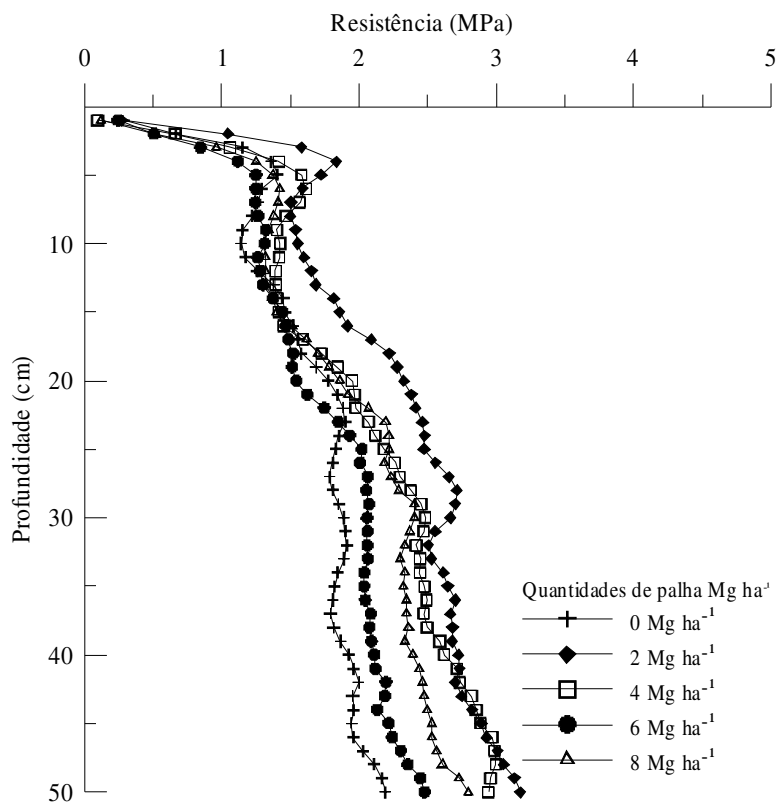


Figura 4 - Resistência a penetração do solo após o tráfego com trator agrícola na Escarificação.



Os valores de resistência a penetração do solo na escarificação antes do tráfego (Figura 3) com o trator agrícola apresentam valores inferiores a 2 MPa nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm não representando dificuldade para o desenvolvimento de raízes. No entanto após o tráfego com a trator (Figura 4) ocorreu compactação nessas profundidades, mas os valores se mantiveram inferiores a 2 MPa, somente nas parcelas que receberam tratamento com quantidade de palha em superfície de 2 Mg ha⁻¹.

A condição de umidade do solo no momento das operações agrícolas possui destaque no que se diz respeito ao preparo do solo uma vez que quando o preparo é efetuado com o solo muito úmido, este pode sofrer danos físicos na sua estrutura e aderir com maior força aos equipamentos no caso de solos argilosos, muitas vezes impossibilitando a operação desejada. Por outro lado quando o solo é preparado estando muito seco, haverá necessidade de números maiores de passagens para obter suficiente destorroamento que permita operação de semeadura prática e eficiente (Carvalho Filho et al., 2007).

Neste sentido as práticas de manejo utilizadas no solo possuem grande influência nas propriedades físicas do solo e estão relacionados com a compactação (Streck et al., 2004). Portanto, a condições estrutura inicial do solo e os teores de umidade são os principais fatores que devem ser controlados no momento de entrada com máquinas agrícolas nas lavouras, para evitar a compactação excessiva do solo, o que pode comprometer as funções ecológicas do solo e a produtividade das culturas agrícolas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A palha em superfície não minimizou os danos causados pela compactação do solo ocasionada pelo tráfego do trator quando a umidade do solo estava próxima a capacidade de campo.

A escarificação reduziu o estado inicial de compactação do solo, mas tornou o solo mais suscetível a compactação, mesmo com a presença de palha sobre a superfície.

A condição estrutural inicial e a umidade do solo são os principais fatores que determinam a suscetibilidade desse Latossolo argiloso de ser compactado pelo tráfego de máquinas agrícolas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.155-163, Jan./Feb. 2004.
- BRAIDA, J. A. et al. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira Ciências de Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p. 477- 485, Mar. 2008.
- BRAIDA, J.A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p. 605-614, Mar./Apr 2006.
- BRANDT, A. A. **Carregamento estático e dinâmico e sua relação com tensão, deformação e fluxos no solo**. 2009. 162 f., Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- BRANDT, A. A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos sistemas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais**. 2004. 90 f., Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- CARVALHO FILHO, A.. et al.. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho acriférrico cultivado com milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 6, n. 2 p. 31-39, 2007.
- COLLARES, 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**, v. 32, p. 933-942, 2008.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.2, p. 161-168, Fev. 2005.
- DRESCHER, M. S. et al. Persistência não Efeito de intervenções Mecânicas para à descompactação de solos soluçar Direto Plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p 1713-1722, Set./Oct. 2011.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Levantamento e Conservação de solos. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro, p. 212, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. 306p.
- KAISER, D.R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 845-855, Jul./Ag. 2009.
- KAMIMURA, K. M. **Parâmetros de solo, máquina e planta em função de doses de**

resíduos vegetais e profundidades de deposição de fertilizantes em semeadura direta. 2008, 129 f. Dissertação (Mestre em Ciências do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KOAKOSKI, A. et al. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.42, n.5, p.725-731, Mai. 2007.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LOPES, E. da S., et al. Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n.3, p. 659-667, Abr. 2011.

MAZURANA, M. et al. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p. 1185-1195, Mai. 2013.

MORAES, M. T. de, et al. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n.4, p. 748-757, Jul.-Ago. 2013.

MÜLLER, J. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de doses de resíduos vegetais e tráfego de máquinas em semeadura direta.** 2011. 83 f. Dissertação (Mestre em Ciências do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

REDIN, M. **Produção de biomassa, composição química e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e de raízes no solo.** 2013. 114 f., Tese (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

ROQUE, A. A. de O. et al. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p. 1536-1542, Set. 2011.

ROSIM, D. C. et al. Compactação de um latossolo vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Solos e Nutrição de Plantas**, Campinas, v.71, n.4, p. 502-508, Out. 2012.

ROSIM, D. C. **Influência da quantidade e manejo da palhada na compactação de um latossolo vermelho distroférico.** 2007. 41f. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo- IAC, Campinas, 2007.

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

SILVA, V. R. da. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 192 f., Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUSA, C. C. M. de. **Influência do estresse hídrico e da compactação do solo na associação nematóide, fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias**. 2013. 137 f., Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

STRECK, C. A. et al. 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.

VIANA, J. H. M. et al. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n.1, p 11-19, jan./fev. 2004.

VIEIRA, M. L. et al. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p. 1271-1280, 2007.