



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

JOSÉ ALCIDES SOARES DE FREITAS

**COMPRESSIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE À
COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE PREPARO E MANEJOS**

CERRO LARGO – RS

2015

JOSÉ ALCIDES SOARES DE FREITAS

**COMPRESSIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE À
COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE PREPARO E MANEJOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia, para a aprovação na disciplina de TCC II e obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO - RS

2015

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Freitas, José Alcides Soares de
COMPRESSIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE
UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE
PREPARO E MANEJOS/ José Alcides Soares de Freitas. --
2015.

36 f.

Orientador: DOUGLAS RODRIGO KAISER.

Co-orientador: RENAN COSTA BEBER VIEIRA.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
AGRONOMIA , Cerro Largo, RS, 2015.

1. degradação física. 2. solos. 3. capacidade de
suporte de cargas. I. KAISER, DOUGLAS RODRIGO, orient.
II. VIEIRA, RENAN COSTA BEBER, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

JOSÉ ALCIDES SOARES DE FREITAS

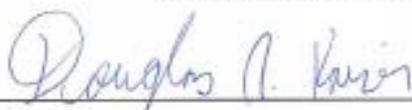
**COMPRESSIBILIDADE E SUSCETIBILIDADE À
COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE PREPARO E MANEJOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia, para a aprovação na disciplina de TCC II e obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof.Dr. Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 23 / 11 / 2015

Banca examinadora:



Profº.Drº. Douglas Rodrigo Kaiser

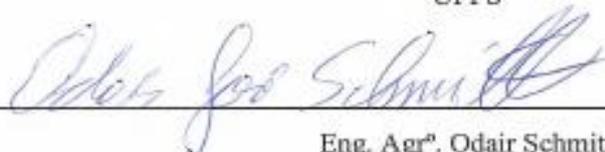
Orientador

UFFS



Profº.Drº. Renan Costa Beber Vieira

UFFS



Eng. Agrº. Odair Schmitt

UFFS

Dedico este trabalho à minha mãe que nunca mediu esforços para me ajudar na realização desse sonho, tendo paciência e compreensão nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela saúde e pela vida.

À minha mãe, pelo amor, apoio, compreensão e amizade.

Aos meus irmão e irmãs que em todos os momentos estiveram me apoiando e incentivando a continuar, sempre acreditando que eu chegaria aonde cheguei.

À família Cardoso, de Cerro Largo, pelo acolhimento, carinho e amizade durante esses anos da graduação.

À Universidade Federal da Fronteira Sul e aos professores que fizeram parte dessa caminhada.

Ao professor Douglas Rodrigo Kaiser, pela dedicação, orientação e disposição em ensinar.

Ao professor Vanderlei Rodrigues da Silva e aos mestrandos do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, pela ajuda durante a realização dos testes em Frederico Wetsphalen.

Aos meus colegas de turma que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

Enfim à todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a minha formação e para a realização deste trabalho.

RESUMO

O solo é um recurso natural formado lentamente a partir da intemperização das rochas e possui uma enorme importância para a humanidade. Apesar disso, a intensa exploração agrícola pode gerar a degradação do solo, através de processos como a compactação. A compactação é um exemplo de degradação física que ocorre em função da aplicação de forças externas sobre o solo, resultando em uma barreira física ao crescimento em profundidade do sistema radicular das culturas, limitando com isso a absorção de água e nutrientes. Visando prevenir que a compactação do solo ocorra, um importante indicador a ser conhecido é a capacidade de suporte de carga do solo, que consiste na máxima pressão que pode ser aplicada ao solo sem que ocorra compactação adicional. O objetivo desse estudo foi determinar a compressibilidade e a suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho em diferentes condições de umidade e sob diferentes sistemas de preparo e manejo do solo, e determinar a influência desses sistemas de preparo nos indicadores da qualidade física do solo. Para isso, amostras indeformadas de solo conduzido sob diferentes sistemas de preparo/manejo foram coletadas e submetidas aos testes físicos e ao Ensaio de Compressão Uniaxial em diferentes condições de umidade. Foram testados os sistemas: Plantio Direto (PD); Plantio Direto com compactação adicional (PDC); Cultivo mínimo (ESC 2015) e escarificação a cada dois anos (ESC 2014). A Densidade do solo na camada superficial foi significativamente maior no PDC (1,39 Mg/m³), sendo a menor média encontrada no ESC 2015 (1,1 Mg/m³). Na camada de 10 a 20 cm as maiores médias foram obtidas respectivamente nos tratamentos ESC 2014 (1,34 Mg/m³) e PDC (1,33 Mg/m³). A Porosidade Total na camada superficial foi maior nos tratamentos que envolveram a movimentação do solo, e na camada subsuperficial a maior média foi encontrada no PD. A capacidade de suporte de carga do solo aumentou na medida em que a umidade do solo foi reduzida. Na camada superficial, o solo conduzido sob cultivo mínimo foi o mais suscetível à compactação e o menos suscetível foi o PDC. A Capacidade de suporte de carga se mostrou uma importante ferramenta para ser usada no manejo conservacionista do solo de forma a prevenir a compactação.

Palavras-chave: Degradação física. Solo. Capacidade de suporte de carga.

ABSTRACT

The soil is a natural resource slowly formed from the weathering of rocks and has a huge importance for humanity. Nevertheless, the farm may generate intense soil degradation by processes such as compaction. The soil compaction is an example of physical degradation occurs due to the application of external forces on the soil, resulting in a physical barrier to growth in depth of root crops, thereby limiting the uptake of water and nutrients. In order to prevent soil compaction occurs, an important indicator to be known is the soil load-bearing capacity, which is the maximum pressure that can be applied to the soil without further compaction occurs. The aim of this study is to determine the ability of a Rhodic Ferralsol Load Support in different moisture conditions and under different tillage systems and soil management and determine the influence of tillage systems on indicators of soil physical quality. For this, undisturbed soil samples conducted under different tillage systems / management were collected and subjected to physical testing and Uniaxial compression test in different soil moisture conditions. The systems will be tested: No-Tillage (PD); No-tillage with additional compaction (PDC); Minimum cultivation (ESC 2015) and soil chiseling every two years (ESC 2014). The soil bulk density in the surface layer was significantly higher in PDC (1.39 Mg / m³), and the lowest average were found in ESC 2015 (1.1 Mg / m³). In the layer 10-20 cm the highest averages were obtained respectively in treatments ESC 2014 (1.34 Mg / m³) and PDC (1.33 Mg / m³). Total porosity in the surface layer was higher in the tillage system with involving the movement of soil and subsurface layer the highest average was found in PD. The Load Capacity in each treatment was increased to the extent that the soil moisture was reduced. In the surface layer conducted under minimum tillage soil was more susceptible to compaction and less susceptible was the PDC. The load capacity proved to be an important tool to be used in conservation soil tillage to prevent compaction.

Keywords: Physical degradation. Soil. Load bearing capacity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação de médias para a Densidade do solo e Porosidade Total.....	21
Tabela 2 Comparação de médias Para a umidade do solo em função do sistema de preparo/manejo	22
Tabela 3 Comparação de médias para Umidade Gravimétrica e Umidade Volumétrica do solo em função das tensões de sucção.	23
Tabela 4 Pressão de preconsolidação e Índice de Compressão do solo em função dos diferentes tipos de preparo/manejos.	25
Tabela 5 Efeito isolado da umidade do solo sobre a Pressão de preconsolidação.	27
Tabela 6 Limites de Plasticidade e Limites de Liquidez para o solo estudado.	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 –Compactação do solo no Preparo Convencional	12
2.2 - Compactação do solo no Sistema de Plantio Direto.....	13
2.3 - Impacto da compactação do solo sobre as plantas	14
2.4 - Indicadores da capacidade de suporte de carga do solo	15
3. METODOLOGIA	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Densidade e porosidade total	20
4.2 Umidade Gravimétrica e Umidade Volumétrica	22
4.3 Pressão de preconsolidação e índice de compressão	24
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural formado lentamente a partir da intemperização das rochas e possui uma enorme importância para a humanidade tanto pela sustentação das plantas, a partir das quais se obtém alimentos, como no suporte a edificações construídas pelo homem. Para as plantas, o solo é responsável não somente pelo suporte mecânico, mas também pelo fornecimento e armazenamento de água, nutrientes e ar, proporcionando um ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular. Do ponto de vista ambiental, o solo é responsável por diversas funções como a filtração e descontaminação da água, e o armazenamento de carbono, o qual é problemático quando emitido em grandes quantidades para atmosfera na forma de gás carbônico. Além disso, o solo é um meio rico em vida e diversidade, sendo o habitat da sua micro, meso e macrofauna. Do ponto de vista social, o solo desde os tempos mais remotos foi um condicionador do desenvolvimento das civilizações humanas, estando a formação das primeiras comunidades, relacionadas à fertilidade do solo em torno dos rios do oriente médio.

Em reconhecimento a essas importantes, indispensáveis e insubstituíveis funções exercidas pelo solo, a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou 2015 como sendo o Ano Internacional dos Solos, com o intuito de promover uma reflexão a respeito da degradação desse recurso natural que vem ocorrendo ultimamente, e que pode comprometer a segurança alimentar da humanidade. Dentre as formas de exploração do solo está a agricultura, dentro da qual a degradação desse recurso natural pode ocorrer devido a fatores como a falta de conhecimento técnico, falta de planejamento das atividades e usos e manejos inadequados do solo.

O atual sistema produtivo de grãos no Brasil é baseado no uso intensivo de tecnologias, tanto no que se refere a insumos agrícolas como também no setor de máquinas e equipamentos. A escassez de mão-de-obra no campo aliada à necessidade de obter altos rendimentos e eficiência no trabalho pressionaram a indústria voltada ao setor agrícola a desenvolver máquinas com alta capacidade de trabalho, tornando o setor de produção de grãos altamente mecanizado. Ao mesmo passo que a mecanização agrícola elevou a eficiência do trabalho nas lavouras brasileiras, trouxe consigo também

o agravamento de problemas relacionados à degradação física do solo, como a compactação.

O aumento no grau de compactação do solo é acompanhado por incrementos na sua densidade e resistência mecânica, bem como por reduções na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996, p. 178).

A alteração nessas características naturais do solo afeta indiretamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal, visto que interfere na disponibilidade de recursos indispensáveis às plantas como o ar e a água.

“Fatores relacionados com as máquinas agrícolas, como pneus estreitos ou com elevada pressão de inflação e alta carga por eixo, causam o aumento da compactação do solo” (HAKANSSON, 1990 apud SILVA & CABEDA, 2006 p.922). Somado a isso, o tráfego e operações com máquinas sobre o solo com umidade excessiva tendem a agravar o problema da compactação, tornando indispensável o planejamento das atividades na propriedade de forma a evitar a circulação com máquinas pela lavoura diante dessa condição imprópria.

Uma importante característica do solo que necessita ser conhecida para evitar a sua compactação é a sua capacidade de suporte de carga, ou seja, a carga máxima que pode ser aplicada ao solo em determinada situação sem que ocorram prejuízos à sua estrutura física. De acordo com Alakuku et al.(2003 apud DEBIASI et al., 2008 p. 2630) a estratégia mais eficaz para a prevenção da compactação envolve a aplicação de pressões externas que não excedam a capacidade de suporte do solo. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é determinar a compressibilidade e a suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo/manejo do solo, e sob diferentes níveis de umidade, e determinar a influência desses sistemas de preparo nos indicadores da qualidade física do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compactação do solo no Preparo Convencional

Dentre as principais operações envolvidas nos sistemas produtivos de grãos está o preparo do solo para implantação das culturas, seja por meio de aração e gradagem ou através da implantação direta com revolvimento apenas na linha de semeadura. Segundo Estevam et al. (2010) o uso contínuo das máquinas nessas operações resulta em alterações nos atributos físicos do solo, dentre as quais se destaca a compactação que atualmente é um grave problema enfrentado pelos agricultores.

Segundo a EMBRAPA (s.d.), o preparo convencional do solo é realizado em duas etapas, sendo o preparo primário realizado com arados ou grades pesadas, com o objetivo de mobilizar o solo, e o preparo secundário realizado com grades leves visando o destorroamento e nivelamento do solo.

Ralish et al. (2008) demonstraram em seu estudo comparando o sistema de preparo convencional com sistemas de plantio direto consolidados há diferentes períodos, que a resistência á penetração na camada superficial é menor no sistema de preparo convencional. Porém os mesmos autores verificaram um expressivo aumento na resistência á penetração no solo sob este método de preparo na camada com profundidade superior a 15 cm, evidenciando o efeito do acúmulo de carga dos implementos de preparo do solo sobre a sua estrutura física. Outros autores como Silva (1992); Filho et al.(2000) também afirmam que o uso contínuo da grade pesada ou do arado no preparo convencional do solo proporciona a formação de uma camada subsuperficial compactada, a qual é conhecida como pé-de-arado ou pé-de-grade.

Outro estudo comparativo entre os sistemas de preparo do solo foi conduzido por Costa et al. (2003), no qual os autores puderam observar na camada superficial do solo sobre preparo convencional em comparação ao solo sobre plantio direto: menor porosidade total; menor resistência á penetração; menor estabilidade dos agregados e menor umidade volumétrica. “A frequência das operações de aração e gradagem reduz o diâmetro médio de agregados, a macroporosidade, a condutividade hidráulica do solo saturado [...]” (ESTEVAM et al, 2010 p.1). Resultados diferentes em relação à macroporosidade em sistemas de preparo que envolvem o revolvimento do solo foram obtidos por Stone & Silveira (2001), os quais puderam verificar aumento deste indicador na camada superficial do solo.

2.2 - Compactação do solo no Sistema de Plantio Direto

A adoção do Sistema de Plantio Direto (SPD), com revolvimento mínimo do solo e manutenção de cobertura vegetal em superfície trouxe uma importante contribuição para a conservação dos solos agrícolas brasileiros e elevou a produtividade dos mesmos pela melhoria das condições químicas, físicas e biológicas. Apesar disso, “a mecanização com máquinas cada vez mais pesadas e a maior intensidade de uso do solo, mesmo no sistema de semeadura direta, promovem efeitos negativos na estrutura do solo” (SILVA et al., 2003, p. 978).

A ausência de revolvimento do solo, associada à maior intensidade de uso da terra, expõe o solo a intenso tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade e contribui para alterar a qualidade estrutural do solo, o que acarreta aumento da compactação em muitas áreas manejadas sob esse sistema (COLLARES et al., 2006 p. 1664).

No SPD, Genro Junior, Reinert & Reichert (2004) observaram maior compactação nas camadas superficiais, comparado aos sistemas que envolveram a mobilização do solo entre 0,20 e 0,30 m de profundidade. Resultado semelhante foi obtido em um longo estudo conduzido durante 21 anos por Costa et al.(2003), no qual os autores puderam identificar a tendência de ocorrer aumento da densidade na camada superficial (0-0,05 m) de um solo conduzido sob sistema de plantio direto, enquanto nas demais camadas houve redução na densidade do solo. A redução na densidade observada por esses autores provavelmente se deve à melhoria nas condições físicas e biológicas do solo em razão do não revolvimento do mesmo. “No plantio direto, os solos apresentam, em geral, na camada superficial, após três a quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com os do preparo convencional” (STONE & SILVEIRA, 2001).

Apesar disso alguns estudos, como o realizado por Goedert, Costa & Souza (2006) em um Latossolo Vermelho, não identificaram diferenças significativas na maioria dos indicadores da qualidade física do solo comparando os sistemas de plantio direto e convencional. Essa variabilidade de informações existente na literatura nos faz concluir que a compactação do solo depende não apenas do sistema de preparo empregado, mas também de outras variáveis como a umidade do solo no momento de circulação das máquinas, o tipo de solo e a intensidade do preparo, sendo possível mitigar a compactação em ambos os sistemas de preparo do solo.

2.3 Impacto da compactação do solo sobre as plantas

A alteração nos atributos físicos do solo pela degradação de sua estrutura causa impactos no crescimento e desenvolvimento dos vegetais:

No processo de compactação, a densidade, a porosidade e o tamanho de poros são os atributos mais afetados, registrando-se ainda, aumento na resistência à penetração de raízes, reduções na taxa de infiltração e armazenamento de água, o que também afeta a disponibilidade de nutrientes e reduz a produtividade das culturas (ALBUQUERQUE, SANGOI & ENDER, 2001, p.722).

De acordo com Reichert, Suzuki & Reinert (2007) mesmo que um solo seja quimicamente bom, na presença de compactação as plantas não conseguirão se beneficiar adequadamente dos nutrientes disponíveis em razão de que a maior taxa da absorção de nutrientes se dá nas raízes novas e as mesmas ficam com seu desenvolvimento prejudicado nessa condição. “Com a compactação diminuem os espaços livres do solo e conseqüentemente, a quantidade de oxigênio disponível na rizosfera, podendo ser limitante para o desempenho dos processos metabólicos da planta” (QUEIROZ-VOLTAN, NOGUEIRA & MIRANDA, 2000 p.929).

Nesse mesmo estudo os autores verificaram a influência da compactação do solo no crescimento e desenvolvimento da parte aérea de plantas de soja, tendo sido constatado redução na altura de plantas, na matéria seca do caule e folhas e no número de folhas e área foliar.

Segundo Camargo & Alleoni (1997), a compactação do solo limita o crescimento da raiz principal da soja, levando à formação de mais raízes laterais pouco profundas, tornando a cultura mais vulnerável ao estresse hídrico em condições de seca.

Em estudo sobre o desenvolvimento da cultura do milho em solo preparado pelo sistema convencional e por plantio direto, após pisoteio animal em sistema de integração lavoura pecuária Silva, Reinert & Reichert (2000), verificaram maior quantidade de raízes nos tratamentos que receberam preparo convencional de solo do que no plantio direto. Resultados semelhantes foram observados por Collares et al. (2008), que avaliando o impacto de diferentes sistemas de manejo sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de feijão e trigo encontraram crescimento do sistema radicular concentrado nos primeiros 0,10 m em solo compactado, ao passo que em solo sob plantio direto sem compactação adicional as raízes das culturas atingiram maiores profundidades.

2.4 - Indicadores da capacidade de suporte de carga do solo

Para evitar que a compactação do solo se torne um limitante para a produtividade das culturas agrícolas torna-se necessário o conhecimento de algumas propriedades físicas desse importante recurso natural, as quais regem esse processo degradativo. Conforme Silva et al. (2010) muitas outras propriedades físicas do solo têm sido usadas para identificar a sua compactação, porém apenas a pressão de preconsolidação (σ_p) tem sido capaz de quantificar as pressões que podem ser aplicadas aos solos sem que haja compactação adicional.

A pressão de preconsolidação é a pressão que divide a curva de compressão do solo em duas regiões: (a) uma região de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária); (b) uma região de deformações plásticas não recuperáveis (curva de compressão virgem). (SILVA et al., 2010, p. 255).

[...] A aplicação de pressões menores que a pressão de preconsolidação causa deformações elásticas (recuperáveis) no solo e as propriedades físicas mantêm-se constantes, enquanto a aplicação de pressões mais elevadas causa deformações plásticas (não recuperáveis) e as propriedades físicas do solo alteram-se consideravelmente. (HOLTZ & KOVACS (1981); LEBERT & HORN (1991) apud REICHERT, SUZUKI & REINERT, 2007 p. 78)

A ocorrência de maiores ou menores deformações depende da compressibilidade do solo, que segundo Silva et al. (2010) é definida como a facilidade com que o solo não saturado decresce de volume quando sujeito a pressões, sendo função de fatores externos e internos.

Dias Júnior (2000) define a capacidade de suporte de carga do solo, como a pressão máxima suportada pelo solo antes que ocorra compactação adicional. “A suscetibilidade do solo à compactação torna-se crítica todas as vezes que as pressões aplicadas ao solo excederem a sua capacidade de suporte de carga, a qual é uma função da umidade (U).” (DIAS JÚNIOR & KONDO, 1999 p. 212). “Com objetivo de se evitar compactações adicionais, as pressões aplicadas ao solo devem ser inferiores aos valores de σ_p , ou seja, à sua capacidade de suporte de carga (CSC) que diminui à medida que a umidade do solo aumenta” (EMBRAPA, 2010, p.13).

Silva et al. (2010) enumeram algumas aplicabilidades importantes dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo:

- 1- Estimar a máxima pressão a ser aplicada ao solo para evitar que a compactação adicional ocorra;
- 2- Avaliar a suscetibilidade à compactação de diferentes sistemas de manejo;

- 3- Avaliar a suscetibilidade à compactação de diferentes classes de solo;
- 4- Avaliar a suscetibilidade à compactação de diferentes horizontes;
- 5- Avaliar o efeito do tráfego sobre a pressão de preconsolidação;
- 6- Avaliar a recuperação natural da estrutura do solo.

Concordando com isso, é possível encontrar na literatura diversos trabalhos que empregam a determinação da curva de compressão do solo e da pressão de preconsolidação na avaliação da suscetibilidade à compactação: de diferentes classes de solo (SILVA, REINERT & REICHERT, 2000); de solos com diferentes umidades, textura, profundidade e sob diferentes manejos (SILVA, REINERT & REICHERT, 2002); em função do manejo, da umidade e de diferentes usos (KONDO & DIAS JUNIOR, 1999; ORTIGARA et al., 2014); em função do estado inicial de compactação e do manejo (SILVA et al., 2002); em função do tráfego de rodados e de plantas de cobertura (DEBIASI et al, 2008); em função do teor de matéria orgânica (BRAIDA et al 2010).

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo, amostras indeformadas de solo foram coletadas na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, no município de Cerro Largo-RS. O solo do local é classificado como um Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006), sendo composto por 583,2 g.kg⁻¹ de argila; 92,7 g.kg⁻¹ de areia e 324,02 g.kg⁻¹ de silte.

O delineamento experimental utilizado foi o de Blocos ao Acaso, sendo o experimento composto por quatro blocos e cada bloco composto por quatro parcelas medindo 10m X 10m cada. Os tratamentos aplicados estão relacionados ao preparo e manejo do solo ao longo dos últimos anos, sendo que nesta área experimentos vêm sendo conduzidos sob este delineamento desde o ano de 2012, e atualmente está sendo cultivada a cultura da canola. Os tratamentos utilizados são:

PD – Plantio direto consolidado – Representa a condição histórica da área que vem sendo cultivada sob plantio direto há mais de 5 anos.

PDC - Plantio Direto com compactação adicional – Nesta área a compactação adicional foi induzida através do tráfego por toda a área da parcela com um trator agrícola marca New Holland, modelo TL 75E com concha frontal, tendo uma massa de 3700 kg e equipado com pneus traseiros marca Goodyear 18-4-30 e pneus dianteiros marca Pirelli 12-4-24.

ESC 2015– Escarificação (cultivo mínimo) – a escarificação da área foi realizada no dia 30 de abril de 2015, com um escarificador de 5 garras. Após a escarificação foi realizada uma gradagem leve para nivelar a superfície.

ESC 2014 – Escarificada a cada dois anos– Nesta área a escarificação havia sido realizada no ano anterior (2014), sendo após isso conduzida em Plantio Direto, portanto foi mantida sem nova escarificação para o presente estudo.

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas dentro das camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm. Para a coleta das mesmas, foram utilizados cilindros de aço inox com 5,3 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro.

Para avaliar a influência da umidade e das condições de preparo/manejo sobre a Capacidade de suporte de carga do solo, o experimento foi organizado em esquema bifatorial, sendo composto pelos seguintes fatores:

1- Condições de preparo e manejo do solo: quatro níveis: PD; PDC; ESC 2014; ESC 2015.

2- Condições de umidade das amostras: quatro níveis (tensões de sucção):- 6; -10; -33; -100 kPa. Dessa forma, o solo foi testado em condição de umidade correspondente à sua capacidade de campo (-10 kPa); em condição de umidade superior à sua capacidade de campo (-6 kPa); e em condições de umidade inferiores à sua capacidade de campo (-33 e -100 kPa).

Foram coletadas em cada tratamento testado (no somatório das repetições) um total de 32 amostras de solo, sendo 16 amostras da camada superficial (0-10 cm) e 16 amostras da camada subsuperficial (10-20 cm). Dessa forma, foram utilizadas para o estudo 128 amostras indeformadas do solo, as quais após coletadas foram saturadas em laboratório e posteriormente equilibradas nos potenciais de sucção descritos anteriormente, com a utilização de uma mesa de tensão (coluna de areia) para as amostras a serem equilibradas à -6; -10 kPa e de uma Câmara de Richards para os potenciais de -33 e -100 kPa. Após serem equilibradas em seus devidos potenciais as amostras foram pesadas e lacradas para não perderem umidade até o teste de compressão. Posteriormente ao teste de compressão, as amostras foram secas em estufa a 105°C e novamente pesadas para determinação da umidade do solo no potencial de sucção à que foi submetida.

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado conforme a NBR-12007/97 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997) adaptando-se à norma para condições de solo não saturado, e o cálculo da pressão de preconsolidação seguiu o método de CASAGRANDE, também descrito nessa normativa. O ensaio de compressão uniaxial foi realizado no laboratório de Física dos Solos, localizado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* de Frederico Westphalen. Para esse ensaio foi utilizado um Consolidômetro automático modelo CNTA-IHM/BR-001/07, com a aplicação de sete níveis de pressão, sendo que cada nível é aplicado até o momento em que se atinge 95% da deformação da amostra. As pressões aplicadas sobre as amostras de solo foram: 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa.

O método de CASAGRANDE para o cálculo da pressão de preconsolidação, conforme descrito na NBR-12007/97, consiste em identificar na curva de índices de vazios do solo em função do logaritmo da pressão aplicada sobre a amostra, o ponto de mínimo raio de curvatura, e por ele, traçar uma paralela ao eixo das abcissas e uma tangente à curva. Essas duas retas traçadas formarão um ângulo entre si, no qual deverá ser traçada a bissetriz. A abscissa do ponto de intercessão da bissetriz com o prolongamento da reta de compressão virgem, corresponde à pressão de preconsolidação do solo, a qual pode ser interpretada como a capacidade de suporte de carga do solo (figura 1). Para o ajuste da curva de compressão do solo e cálculo da pressão de preconsolidação foi utilizado o suplemento de excel “SCC” (GUBIANI et al., 2014).

As outras variáveis determinadas, além da capacidade de suporte de carga, foram: densidade do solo; porosidade total; umidade gravimétrica e umidade volumétrica. Para isso, utilizou-se a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de solo (EMBRAPA, 2011).

Após concluídas todas as determinações, os dados foram submetidos á análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, com a utilização do software SASM- Agri (CANTERI et al., 2001).

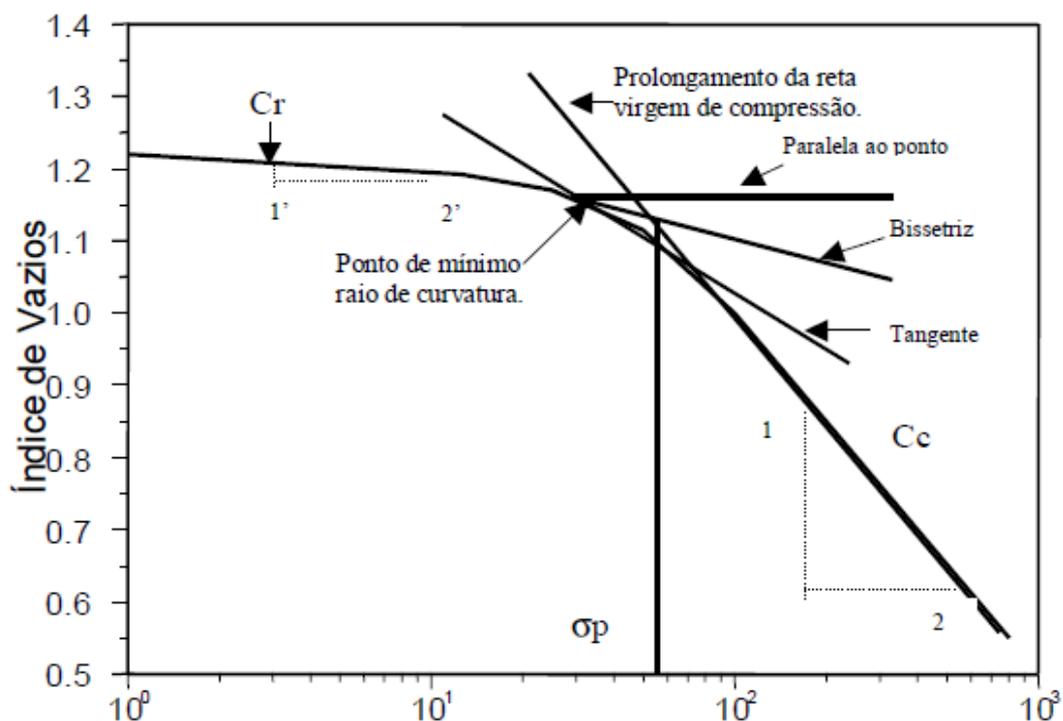


Figura 1 Determinação da pressão de preconsolidação pelo processo de CASAGRANDE.

Fonte: SILVA, V.R. (1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade e porosidade total

Os resultados obtidos para a densidade do solo e para a porosidade total estão apresentados na Tabela 1. Para a densidade do solo na camada superficial (0-10 cm) houve diferença significativa entre os tipos de sistemas de preparo e manejo, estando a maior densidade ligada ao tratamento no qual foi realizada a compactação adicional (PDC). Os menores valores de densidade do solo foram obtidos no sistema de preparo que utilizou o revolvimento da camada superficial (ESC 2015). Esse resultado concorda com os resultados obtidos por Lima et. al (2006) que obtiveram os maiores valores para a densidade e os menores valores para o índice de compressão para o tratamento plantio direto com compactação adicional, em um Argissolo.

O tratamento “ESC 2014” apresentou maior média de densidade quando comparado com o tratamento “ESC 2015” ficando evidente que o efeito de descompactação do solo oferecido pela escarificação vai se perdendo com o passar do tempo. De acordo com Silva (1999) essa recompactação que ocorre em solo descompactado por meios mecânicos se deve aos ciclos de umedecimento e secagem e á reentrada de máquinas e implementos na área.

Segundo Kaiser (2009) o valor de densidade de referência para a classe de solo em estudo é de 1,4 Mg/m³, sendo que valores acima deste podem comprometer o desenvolvimento do sistema radicular das culturas agrícolas. A maior média de densidade obtida foi de 1,39 Mg/m³ no tratamento correspondente ao Plantio Direto com compactação adicional, valor que nos mostra a necessidade de adotar medidas mitigadoras da compactação visando não reduzir a produtividade das culturas.

Já na segunda camada do solo estudada (10-20 cm) os valores de densidade se comportaram de forma diferente, sendo que neste caso a maior média obtida foi no tratamento no qual a escarificação havia sido realizada no ano anterior (ESC 2014). Esse fato nos indica que o estado de compactação do solo pode ser agravado com o uso da escarificação caso o solo seja novamente trafegado por máquinas. Outro fator que pode ter motivado essa maior densidade na camada subsuperficial neste tratamento é a grande pressão exercida pelo implemento de preparo do solo, formando o chamado pé-de-arado. Esse resultado corrobora com Ortigara et. al (2014), que utilizando a

resistência à penetração como indicativo da compactação do solo, observaram aumento desse indicador em profundidade em solo conduzido sob plantio convencional, indicando a formação do pé de arado, e redução na resistência á penetração na superfície do solo em função do revolvimento.

Por outro lado o tratamento PD apresentou a menor média de densidade na camada subsuperficial do solo, comprovando os efeitos benéficos desse sistema para a estrutura do solo a longo prazo. De acordo com Costa et al (2003) a diminuição da densidade do solo em subsuperfície no sistema de plantio direto ao longo dos anos indica uma melhoria na qualidade física do solo decorrente possivelmente da atividade da fauna edáfica e de raízes, as quais atuam na formação de bioporos.

Com relação à porosidade total, na camada superficial o tratamento que empregou o revolvimento do solo apresentou a maior média. De forma contrária, a menor média de porosidade foi observada no tratamento com compactação adicional. Esses resultados podem ser explicados pela alteração na porosidade do solo que ocorre nos diferentes sistemas de manejo em função do nível de compactação do solo. De forma semelhante, Ortigara et al (2014) observaram redução drástica da macroporosidade e da porosidade total em solo conduzido sob sistema de pastejo rotativo, atribuindo esse resultado á compactação do solo causada pelo pisoteio animal.

Tabela 1 Comparação de médias para a Densidade do solo e Porosidade Total.

Camada (cm)	ESC 2015	ESC 2014	PD	PDC	C.V.(%)
densidade do solo (Mg/m³)					
0 - 10	1,10 d*	1,25 c	1,31 b	1,39 a	5,16
10 - 20	1,30 ab	1,34 a	1,28 b	1,33 a	3,16
porosidade total (m³/m³)					
0 - 10	0,61 a	0,55 b	0,53 b	0,50 c	4,33
10 - 20	0,54 ab	0,52 b	0,54 a	0,52 b	2,80

*médias na linha não seguidas por mesma letra, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.2 Umidade Gravimétrica e Umidade Volumétrica

Os resultados obtidos para a umidade gravimétrica e umidade volumétrica em função dos diferentes sistemas de preparo e manejo do solo estudado estão demonstrados na Tabela 2. A umidade gravimétrica não apresentou diferença estatística significativa entre os sistemas estudados em nenhuma das duas camadas do solo.

Para a umidade volumétrica, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos apenas na camada superficial do solo. Nessa situação, a maior média foi observada no tratamento Plantio Direto Compactado (PDC). Isso pode ser explicado pelo aumento da microporosidade em solos compactados, conferindo maior retenção da água nesses microporos. Em sentido contrário, o revolvimento aumenta a macroporosidade do solo (porosidade de aeração) e torna o solo mais exposto à radiação solar, aumentando a evaporação da água. Com isso a menor média de umidade volumétrica foi observada no sistema de preparo por cultivo mínimo (ESC 2015), o qual empregou uma operação de escarificação e uma operação de gradagem de nivelamento.

Tabela 2 Comparação de médias Para a umidade do solo em função do sistema de preparo/manejo

Camada (cm)	ESC 2015	ESC 2014	PD	PDC	C.V. (%)
Umidade gravimétrica (g/g)					
0 - 10	0,33 a*	0,32 a	0,33 a	0,32 a	7,32
10 - 20	0,32 a	0,32 a	0,31 a	0,31 a	5,48
Umidade volumétrica (cm³/cm³)					
0 - 10	0,37 c	0,40 b	0,43 ab	0,45 a	7,43
10 - 20	0,41 a	0,42 a	0,40 a	0,42 a	5,75

*médias na mesma linha não seguidas por mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A comparação de médias para a Umidade Gravimétrica e para a Umidade Volumétrica do solo em função das tensões de sucção nas quais as amostras foram equilibradas encontra-se na Tabela 3. Tanto para a Umidade Gravimétrica como também para a Umidade Volumétrica, as tensões aplicadas mostraram-se eficientes em

causar variação na quantidade de água na amostra, sendo que apenas entre os potenciais de 6 kPa e 10 kPa não houve diferença estatística.

Considerando-se a Umidade Volumétrica (UV), a qual posteriormente será usada para discutir os valores de pressão de preconsolidação obtidos, percebe-se que: as amostras equilibradas na tensão de 6 kPa, assim como as amostras equilibradas na tensão de 10 kPa, mantiveram-se com 0,44 cm³/cm³ de UV; amostras equilibradas no potencial de 33 kPa mantiveram-se com UV de 0,4 cm³/cm³ e as amostras equilibradas no potencial de sucção de 100 kPa tiveram UV de 0,36 e 0,37 cm³/cm³ para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente.

Tabela 3 Comparação de médias para Umidade Gravimétrica e Umidade Volumétrica do solo em função das tensões de sucção.

Camada (cm)	POT 6	POT 10	POT 33	POT 100	C.V.(%)
	Umidade gravimétrica (g/g)				
0 - 10	0,35 a *	0,35 a	0,32 b	0,29 c	8,09
10 - 20	0,34 a	0,33 a	0,30 b	0,28 c	5,17
	Umidade volumétrica (cm³/cm³)				
0 - 10	0,44 a	0,44 a	0,40 b	0,36 c	7,62
10 - 20	0,44 a	0,44 a	0,40 b	0,37 c	5,43

*médias na mesma linha não seguidas por letras iguais diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.3 Pressão de preconsolidação e índice de compressão

Na Tabela 4 estão expressos os resultados obtidos para a Pressão de preconsolidação e para o índice de compressão do solo em ambas as camadas estudadas. A Pressão de preconsolidação também pode ser entendida como a Capacidade de suporte de cargas do solo e o índice de compressão nos indica a facilidade com que o solo sofre deformação e é um indicador da suscetibilidade do solo à compactação.

No presente estudo a interação entre os fatores umidade do solo e sistema de preparo/manejo não foi significativa, ou seja, ambos os fatores atuam sobre a variável, aumentando ou reduzindo a capacidade do solo de suportar cargas, porém atuam de forma independente entre si. No que se refere ao fator sistema de preparo/manejo do solo, a maior média de Pressão de preconsolidação foi observada no tratamento plantio direto compactado (76,96 kPa), sendo que os valores médios para esse tratamento variaram de 63,85 kPa até 100,19 kPa. Apesar disso, o tratamento PDC na camada superficial do solo não diferiu estatisticamente do tratamento PD (Plantio Direto) e do tratamento ESC 2014 (Escarificado no ano anterior) que apresentaram médias de Pressão de preconsolidação de 63,52 kPa e 61,46 kPa respectivamente. Para o tratamento PD, os valores de Pressão de preconsolidação obtidos nas repetições variaram entre os extremos de 38,55 kPa e 92,27 kPa, ao passo que para o tratamento ESC 2014 a variação se deu entre 26,44 kPa e 128,92 kPa. Para a camada superficial do solo, a menor média de Pressão de preconsolidação (31,28 kPa) ocorreu no Sistema de Cultivo Mínimo (ESC 2015), sendo que os valores médios para esse tratamento variaram entre 16,98 kPa na condição de maior umidade, e 45,27 kPa na condição de solo menos úmido.

Na segunda camada de solo estudada (10-20 cm) não foram verificadas diferenças estatísticas entre os sistemas de preparo/manejo do solo, porém o solo do tratamento ESC 2014 revelou tendência em suportar maiores cargas, o que pode ser um indicativo da presença de uma região compactada nessa camada do solo, já que a densidade inicial dessa camada foi superior aos demais tratamentos (1,34 Mg/m³). Essa informação evidencia ainda mais a ocorrência de uma recompactação em solos que sofrem descompactação por métodos mecânicos, muitas vezes agravando ainda mais o problema.

Tabela 4 Pressão de preconsolidação e Índice de Compressão do solo em função dos diferentes tipos de preparo/manejos.

CAMADA(cm)	POTENCIAL (-kPa)	PDC	PD	ESC 2014	ESC 2015	C.V.(%)
Pressão de preconsolidação (kPa)						
0 - 10	6	63,85	38,55	26,44	16,98	40,44
	10	67,22	75,34	40,75	34,86	40,94
	33	76,57	47,94	49,75	28,01	36,95
	100	100,19	92,27	128,92	45,27	48,32
	Média	76,96 a	63,52 a	61,46 a	31,28 b	51,22
10 - 20	6	17,84	18,91	55,2	18,08	145,70
	10	32,36	30,87	35,87	49,51	38,16
	33	30,55	31,45	82,83	44,49	88,78
	100	68,62	56,57	58,52	77,56	35,11
	Média	37,34 a	34,45 a	58,1 a	47,41 a	69,34
Índice de Compressão						
0 - 10	6	0,15	0,21	0,21	0,33	18,88
	10	0,19	0,22	0,29	0,46	18,90
	33	0,18	0,25	0,3	0,46	29,08
	100	0,24	0,25	0,42	0,43	28,57
	Média	0,19 c	0,23 c	0,31 b	0,42 a	25,96
10 - 20	6	0,23	0,21	0,21	0,20	23,72
	10	0,18	0,23	0,21	0,24	16,17
	33	0,21	0,27	0,26	0,28	20,84
	100	0,26	0,32	0,28	0,32	22,73
	Média	0,22 a	0,26 a	0,24 a	0,26 a	20,22

*médias na mesma linha não seguidas por letras iguais diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Apesar de estatisticamente não haver interação entre os fatores estudados, os valores de Pressão de preconsolidação dentro do mesmo sistema de preparo/manejo do solo, sofreram a influência do grau de umidade encontrado na amostra, estando os maiores valores ligados às menores umidades, como pode ser observado na tabela 4. Para as amostras da camada superficial do solo, das quais apenas a água dos macroporos foi retirada (tensão de 6 kPa), o tratamento plantio direto com compactação adicional obteve a maior média de carga suportada (63,85 kPa), diferindo estatisticamente dos

demais sistemas de preparo. O Sistema de Plantio Direto se mostrou capaz de suportar uma carga de 38,55 kPa nesta condição de umidade, mostrando-se um sistema intermediário, não diferindo estatisticamente do sistema com maior média (PDC = 63,85 kPa) e nem dos sistemas que envolveram a escarificação, cujas médias de Pressão de preconsolidação mostraram-se baixas, sendo de 26,44 kPa e 16,98 kPa para o ESC 2014 e ESC 2015 respectivamente. De maneira geral ambos os tratamentos nessa condição de umidade apresentaram baixa capacidade de suportar cargas e com isso baixa resistência à compactação.

Quando testados com umidade equivalente à Capacidade de Campo (tensão de 10 kPa) não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de Pressão de preconsolidação obtidos para os diferentes sistemas de preparo/manejo do solo. Na condição de solo um pouco mais seco (tensão de 33 kPa), foi observado um aumento na capacidade de suportar cargas em todos os sistemas testados. Nessa condição, a maior média foi observada no Plantio Direto Compactado (76,57 kPa) e a menor resistência ao carregamento foi observada no solo escarificado no mesmo ano de realização do estudo (ESC 2015) com média de 28,01 kPa.

Na condição de solo com menor umidade empregado nesse estudo (tensão de 100 kPa) ocorreu um grande aumento nas médias de Capacidade de suporte de cargas de todos os tratamentos. Quando comparada essa condição com a condição de máxima umidade testada (tensão de 6 kPa) os solos obtiveram os seguintes acréscimos na Pressão de preconsolidação: 31,8 kPa para o PDC; 53,72 kPa para o PD; 102,48 kPa para o ESC 2014 e 28,23 kPa no ESC 2015.

O efeito isolado (não considerando o sistema de preparo/manejo) do grau de umidade da amostra sobre a Pressão de preconsolidação, esta exposto na tabela 5. Os resultados obtidos na camada superficial do solo, mostram que a condição de Umidade Volumétrica mais baixa testada ($0,36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) proporcionou ao solo a maior média (91,66 kPa) de Pressão de preconsolidação, ou seja, a maior Capacidade de suporte de cargas, diferindo estatisticamente das demais condições de umidade. A menor média de carga suportada pelo solo foi obtida na condição de maior umidade testada ($0,44 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), mostrando a baixa resistência do solo à compactação nesta condição. Os resultados obtidos para a camada de 10 a 20 cm foram semelhantes á camada superficial e podem ser conferidos na tabela 5.

Tabela 5 Efeito isolado da umidade do solo sobre a Pressão de preconsolidação.

Camada (cm)	POT 100	POT 10	POT 33	POT 6	C.V.(%)
	Umidade Volumétrica (cm ³ /cm ³)				
	0,36	0,44	0,4	0,44	
	Pressão de preconsolidação (Kpa)				
0 - 10	91,66 a*	54,54 b	50,57 b	36,45 b	48,20
10 - 20	65,32 a	37,15 b	47,33 ab	27,51 b	63,77

*médias na mesma linha não seguidas por letras iguais diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados podem ser mais bem entendidos quando consideramos os valores de umidade correspondentes ao limite de plasticidade para esse solo, conforme obtido por Kaiser et al. (2015), os quais estão dispostos na Tabela 6. Conforme esses autores, a Umidade Volumétrica no limite de plasticidade para o solo estudado é de 0,37 e 0,39 cm³/cm³ respectivamente para as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. Conseqüentemente, a partir desse valor de umidade o solo encontra-se no estado plástico, apresentando com isso maior suscetibilidade à compactação. Esse resultado pode ser confirmado quando analisamos os valores de Pressão de preconsolidação obtidos neste estudo, sendo que o maior valor foi obtido com o solo apresentando Umidade Volumétrica inferior ao limite de plasticidade deste solo.

Os potenciais de sucção de 33 kPa; 10kPa e 6 kPa aos quais as amostras foram submetidas, resultaram em Umidades Volumétricas (0,4; 0,44 e 0,44 cm³/cm³ respectivamente) superiores ao limite de plasticidade para esse solo. Com isso, estando o solo no estado plástico, foram observados menores valores de Pressão de preconsolidação, ou seja, menor Capacidade de suporte de carga, confirmando a hipótese de que o solo compacta-se mais facilmente quando encontra-se no estado plástico.

Tabela 6 Limites de Plasticidade e Limites de Liquidez para o solo estudado.

Camada (m)	Limite de Plasticidade	Limite de Liquidez
	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
0,00-0,10	0,37	0,61
0,10-0,20	0,39	0,57
0,20-0,30	0,44	0,60

Fonte: KAISER et al. (2015).

O índice de compressão (IC) do solo (Tabela 4) se comportou de maneira característica. Apesar de na maioria das comparações de médias para esse indicador não terem sido identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de preparo/manejo do solo, ele se mostrou capaz de nos revelar a suscetibilidade do solo á compactação. Desse modo, o solo com maior suscetibilidade à compactação em todas as condições de umidade na camada superficial foi o que sofreu escarificação mais recentemente (IC = 0,42). Por outro lado, o solo que se mostrou menos suscetível á compactação foi o plantio direto compactado (IC = 0,19), sendo que este solo inicialmente já apresentava os maiores valores de densidade. De maneira geral a suscetibilidade do solo á compactação, representada pelo índice de compressão se mostrou intimamente relacionada com o estado inicial de compactação do solo que pode ser verificado pela densidade inicial do solo. Outros estudos também identificaram a existência de relação entre a densidade inicial do solo e a Pressão de preconsolidação, onde menores valores de densidade inicial resultaram em menores valores de Pressão de preconsolidação (Silva et. al, 2000; Silva et al, 2002).

Resultados semelhantes foram obtidos por Ortigara et. al (2014) que encontraram os menores valores de Pressão de preconsolidação em solo revolvido e manejado pelo Sistema Convencional. No que diz respeito á relação existente entre a Capacidade de suporte de carga e o estado de compactação inicial do solo, esses mesmos autores verificaram que o pisoteio animal elevou os valores de Pressão de preconsolidação em relação aos sistemas com revolvimento do solo e mata nativa.

Revisando a literatura encontramos que as pressões exercidas pelas máquinas agrícolas sobre o solo variam dentro dos limites de 50 a 450 kPa (SOANE, 1986 apud LIMA et al., 2006, pg. 1767; CARDOSO, 2007 apud DIAS JUNIOR, s/d; ARAUJO

JUNIOR & DIAS JUNIOR, 2011, p.3). Com isso, considerando os valores de Capacidade de suporte de carga obtidos neste estudo podemos concluir que o tráfego de máquinas sobre o solo pode facilmente exercer pressões que excedem a pressão máxima suportada pelo solo, principalmente naquelas situações em que a umidade do solo é maior.

5. CONCLUSÕES

A Capacidade de suporte de carga se mostrou uma importante ferramenta para ser usada no manejo conservacionista do solo de forma a prevenir a compactação. Sabendo-se esse parâmetro é possível planejar melhor as operações agrícolas, bem como adaptar características das máquinas agrícolas que determinam a pressão que a mesma exerce sobre o solo. Adicionalmente os resultados obtidos permitem concluir que:

- 1- A Pressão de preconsolidação se mostrou relacionada com o estado de compactação inicial do solo, sendo que as maiores cargas foram suportadas pelo tratamento PDC e as menores pelo tratamento ESC 2015 (cultivo mínimo).
- 2- A densidade do solo e a porosidade total se mostraram bastante influenciadas pelo sistema de manejo do solo, sendo que a compactação do mesmo aumentou a densidade e causou redução na porosidade total.
- 3- A Pressão de preconsolidação de ambos os tratamentos foi maior quando o teor de umidade do solo foi menor, e vice-versa.
- 4- O emprego da escarificação resultou em uma frágil estrutura de solo na camada superficial, tornando-a mais suscetível á compactação.

Devido à grande proporção que o problema da compactação está tomando nas áreas de produção agrícola, espera-se que a capacidade de suporte de cargas do solo não limite-se a ser um indicador apenas teórico, mas que passe a ser realmente usada buscando a melhoria dos sistemas de produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo características da cultura do milho. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.25:3, p.717-723, 2001.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Ensaio de adensamento unidimensional: NBR12007**. Rio de Janeiro, 1990.13p.
- [3] BRAIDA, J. A. REICHERT, J.M. REINERT, D. J.; SEQUINATTO, L.Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.477-485, 2008.
- [4] BRAIDA, J. A. REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.2, p.131–139, 2010.
- [5] CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- [6] CANTERI, M. G.; ALTHUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.;GODOY, C. V. SASM- Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft – Knott, Tukey e Duncan. *Revista Brasileira de Agrocomputação*, V.1, N.2, p.18-24. 2001.
- [7] COLLARES, G. L; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D. R. 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
- [8] COLLARES, G. L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.11, p.1663-1674, nov. 2006

[9] COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27 p.527-535, 2003.

[10] DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M..Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2629-2637, 2008.

[11] DIAS JUNIOR, M. S.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Modelagem das tensões verticais aplicadas ao solo por um trator cafeeiro para predição da compactação. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2011, Uberlândia –MG. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/aso/cezarfrancisco/tensoesverticais.pdf> acesso: 10/11/2015.

[12] DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 56-94, 2000.

[13] DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do Solo: modelagem e aplicações. Disponível em: <http://www.stab.org.br/palestra_sistematizacao_2013/02_moacir_souza_22.pdf> acesso: 10/11/2015.

[14] DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.175-182, 1996.

[15] EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011, 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 132).

[16] EMBRAPA. **Plantio Convencional**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica –AGEITEC. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_32_59200523355.html> Acesso em: 18, abr. 2015.

[17] EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

[18] EMBRAPA. **Uso da capacidade de suporte de carga como prevenção da compactação subsuperficial de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar**. Aracaju: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 64, 2010.

[19] ESTEVAM, R. F. H.; FILHO, J. F. de M.; TRINDADE, A. V.; FERNANDES, M. F.; GOMES, H. M. Efeito da frequência de preparo periódico nos indicadores da compactação do solo. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Uberlândia-MG, 2010, p.3. (Resumo expandido).

[20] FILHO, A. G.; SANTOS PESSOA, A. C. dos; STROHHAECKER, L.; HELMIC, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.953-957, 2000.

[21] GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.

[22] GOEDERT, W. J.; COSTA, E. A.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, jul. 2006

[23] GUBIANI, P. I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; GOULART, R. Z. FONTANELA, E. **Suplemento excel para modelar a curva de compressão do solo**. In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 2014, Cusco – Perú.

[24] KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L. & KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo

sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:845-855, 2009.

[25] KAISER, D. R.; PORTELA, V. O.; MALLMANN, M. S.; MUMBACH, G. L.; BONFADA, E. B.; RAUBER, J. L. P. Efeito do preparo e dos níveis de cobertura sobre a suscetibilidade à compactação de um Latossolo Argiloso. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Natal-RN, 2015.

[26] KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23 p.497-506, 1999.

[27] LIMA, C. L. R. de; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.6, p.1765 – 1772, 2006.

[28] ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F. B.; BERTOLLO, A. M.; KAISER, D. R.; SILVA, V. R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.38, p.619-626, 2014.

[29] QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S. & MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 35:929- 938, 2000.

[30] RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C.. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.4, p.381-384, Campina Grande-PB, 2008.

[31] REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, v.5 p.49-134, 2007.

- [32] SILVA, A.J.N. da; CABEDA, M.S.V..Compactação e compressibilidade do solo Sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.30, p.921-930, 2006.
- [33] SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. **VII-Indicadores da Qualidade Física do Solo**. Viçosa: Quirijn de Jong Van Lier, 2010.
- [34] SILVA, J.G. Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Botucatu, **Universidade Estadual de São Paulo**, 1992. 180p.
- [35] SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M. & FOLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, p.973-983, 2003.
- [36] SILVA, V. R. **Compressibilidade de um Podzólico e um Latossolo em Função do Estado Inicial de Compactação e Saturação em Água**. UFSM, Santa Maria, 1999. 98p. (Dissertação de Mestrado).
- [37] SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.191-199, 2000.
- [38] SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-amarelo distróficoarênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II - grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26 p.9-15, 2002
- [39] SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-amarelo distróficoarênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I - estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, p.1-8, 2002

[40] SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-escuro e de um Podzólico Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.239-249, 2000

[41] 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**, v.25, p.395-401, 2001.