

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS

***CAMPUS* CERRO LARGO**

CURSO DE AGRONOMIA

DAIANA CRISTINA JOHANNES

**DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB SISTEMA
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

CERRO LARGO – RS

2016

DAIANA CRISTINA JOHANNNS

**DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB SISTEMA
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia com ênfase em Agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Profº. Drº. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2016

DAIANA CRISTINA JOHANNS

DAIANA CRISTINA JOHANNS

**DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

30 / 11 / 16

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS



Prof. Dr. Gilmar R. Meinerz- UFFS

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Johanns, Daiana Cristina

DIAGNÓSTICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB SISTEMA
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA/ Daiana Cristina Johanns.

-- 2016.

63 f.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2016.

1. Manejo. 2. Compactação. 3. Sistemas de produção.
5. 14. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Renê Luis Johanns e Merice Heck Johanns pelo apoio, incentivo, pela força, pelo amor e dedicação, por tudo o que tenho e sou hoje.

Ao meu namorado Vilson José Zabovski, com o qual sempre pude contar, com seu apoio, conselhos, e pelo companheirismo.

Ao meu orientador, Douglas Rodrigo Kaiser, pela atenção e dedicação durante a execução deste trabalho, tornando possível a conclusão deste.

A banca examinadora Dr. Douglas Rodrigo Kaiser, Prof. Dr. Renan Costa Beber e Prof. Dr. Gilmar Meinerz que se disponibilizaram a avaliar este trabalho.

Aos agricultores que disponibilizaram suas propriedades para a realização deste trabalho.

Aos colegas, Anderson Machado, Lucas Rauber, Fúvio Balbueno, Felipe Dapper, Flávio Lemes e Eduardo Mallmann, que auxiliaram na execução dos trabalhos de campo.

A todos os meus amigos, colegas e professores do curso de Agronomia da UFFS por todos os ensinamentos, pela amizade, pela atenção e dedicação.

Principalmente aos professores Douglas Rodrigo Kaiser, Marcos Antônio Zambillo Palma, Patrícia Marasca Fucks e Ney Sodré por terem me disponibilizado oportunidades únicas de aprendizado.

A Deus pela vida, saúde, pelas oportunidades, e por me dar forças para superar as dificuldades que encontrei no caminho.

RESUMO

A intensificação da produção nas pequenas e médias propriedades, principalmente leiteiras, do sul do Brasil tem como prática a utilização da sucessão pastagem e milho-silagem, um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP). Porém, associada ao manejo inadequado ela pode ocasionar a compactação e a alteração de atributos físicos do solo. O presente trabalho teve por objetivo realizar um diagnóstico sobre a ação do sistema de integração lavoura-pecuária nos atributos físicos do solo, relacionados com outros sistemas de produção encontrados em propriedades da região de Cerro Largo, RS. Os trabalhos de campo foram realizados em propriedades do município de Cerro Largo-RS. Sendo selecionadas áreas com sistema de integração lavoura-pecuária, pastagem de inverno e verão, pastagem de *Cynodon spp.* cv. Tifton, e áreas com milho manejadas sob plantio direto. O diagnóstico das condições físicas do solo foi realizado pela coleta de amostras de solo em diferentes profundidades, de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, e a partir dessas foi mensurada a textura, densidade, porosidade total, macro e microporosidade do solo, também foi realizada a coleta de dados de resistência à penetração, pelo método da penetrometria. A partir dos parâmetros críticos dos atributos, obtidos com base na bibliografia com base na textura dos solos, foi realizada análise interpretativa e descritiva dos dados. As áreas de integração lavoura pecuária, no geral apresentaram melhores atributos físicos do solo. A área de pastagem apresentou os menores valores médios de densidade avaliados, bem como maior macroporosidade, assim como valores limitantes de resistência à penetração a partir dos 10 cm de profundidade. A área de Plantio Direto apresentou camada compactada entre os 10 a 20 cm de profundidade, evidenciados pela maior densidade nesta camada, menor macroporosidade, e valores limitantes de resistência à penetração desde os 15 cm de profundidade.

Palavras-chave: Manejo, compactação, sistemas de produção.

ABSTRACT

Intensification of production in small and medium farms, especially dairy, of Southern Brazil has a policy of use of pasture and corn-silage succession a crop-livestock integration system (ILP). However, associated with inadequate management it can lead to compression and the change of soil physical attributes. The objective of the present work was to perform a diagnosis on the action of the crop-livestock integration system in the physical attributes of the soil, related to other production systems found in properties of the Cerro Largo, RS region. The field work was carried out in the municipality's property Cerro Largo-RS. Being selected some areas of integrated crop-livestock system, winter and summer pasture, pasture of *Cynodon* spp. cv. Tifton, and areas with corn managed under no-tillage system. The diagnosis of the physical conditions of the soil was made by collecting soil samples at different depths, of 0 to 10, 10 to 20 and 20 to 30 cm, and from these to measure the texture, density, total porosity, macroporosity and microporosity of soil, the penetration resistance data were also collected by the penetrometry method. From the critical parameters of the attributes obtained based on the literature based on soil texture, it was held interpretative and descriptive data analysis. The areas of crop-livestock integration, in general presented better physical attributes of the soil. The pasture area had the lowest mean values of density evaluated, as well as greater macroporosity, as well as limiting values of resistance to penetration from 10 cm depth. The direct planting area presented a compacted layer between 10 and 20 cm depth, evidenced by the higher density in this layer, lower macroporosity, and limiting values of resistance to penetration from the 15 cm depth.

Keywords: management, compression, production systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resistência à penetração das áreas: T I = Tífton I; T II = Tífton II e (T III). =Tífton III	35
Figura 2. Resistência à penetração das áreas: S I = Silgem I, S II = Silagem II; S III = Silagem III.	37
Figura 3 - Resistência à penetração das áreas: PD=Plantio Direto e P= Pastagem.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de argila, areia e silte e classe textural e os correspondentes valores críticos de densidade do solo (Ds) das áreas.....	26
Tabela 2 - Teor de argila e matéria orgânica (MO) e densidade do solo máxima (Dsmáx).....	27
Tabela 3 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Tífton I (T I), Tífton II (T II) e Tífton III (T III).....	28
Tabela 4 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC) porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Silagem I (S I), Silagem II (S II) e Silagem III (S III).	30
Tabela 5 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC) porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Plantio Direto (PD) e Pastagem.(P).....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1.TEMA	12
1.2.PROBLEMA	12
1.3.HIPÓTESE	12
1.4.OBJETIVOS	12
1.4.1.Objetivo geral	12
1.4.2.Objetivos específicos.....	12
1.5.JUSTIFICATIVA	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Atributos físicos do solo.....	14
2.1.1 Porosidade do solo.....	14
2.1.2 Densidade do solo.....	16
2.1.3 Resistência do solo à penetração	17
2.2. Influências do manejo nos atributos físicos do solo	18
2.3. Sistema de integração lavoura-pecuária	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4. RESULTADOS ESPERADOS	26
4.1. Densidade do solo, grau de compactação e porosidade do solo	26
4.2. Resistência à penetração	34
5. CONCLUSÃO	41
ANEXO	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Um dos sistemas de produção mais representativos das pequenas e médias propriedades do Sul do Brasil é a integração lavoura-pecuária (ILP), onde há uso de culturas de inverno, como pastagem e produção de grãos ou silagem de milho no verão, utilizados principalmente para produção de leite (VEIGA et al., 2013; MORAES, 2011).

O solo, em sistemas integrados, pode ser considerado o compartimento centralizador dos processos e aquele que captura as modificações do sistema de produção, que são, em última análise, determinadas pelo homem, quando define o manejo que impõe ao sistema (ANGHINONI, 2013).

Em função do tamanho reduzido das propriedades da região, pela intensificação da produção, os produtores adotam práticas de preparo do solo convencionais, muitas vezes, juntamente com alta taxa de lotação animal e entrada nas áreas em situações de umidade do solo inadequadas, com solo em estado plástico, potencializando a compactação.

O aumento da densidade e a redução da porosidade, principalmente da porosidade total e macroporos, além do aumento da resistência do solo à penetração são indicadores de compactação do solo, que é ocasionada por forças compressivas em um solo plástico. A compactação do solo causa impedimento físico às raízes, à infiltração da água, aeração, redução da atividade biológica do solo, acarretando redução da produtividade das culturas, além da perda do recurso natural.

Assim, a avaliação dos impactos das práticas de manejo sobre a qualidade física do solo deveria ser feita por meio de parâmetros que determinam as condições físicas para o crescimento das plantas (TORMENA, 2009).

Em solo compactado as raízes das plantas se restringem à camada superficial do solo, o que as torna mais suscetíveis ao estresse hídrico, mesmo em períodos de estiagem curtos. Reichert (2007) explicita ainda que o sistema radicular certamente percebe e integra todas as condições no espaço e no tempo, de modo semelhante à parte aérea das plantas, que está exposta a trocas constantes de

ambiente, indicando claramente que estresses na parte aérea e sistema radicular são igualmente importantes.

O pisoteio animal ocasiona a compactação superficial, que além de ser maximizada pelas condições de umidade do solo, também é pelos métodos de manejo das pastagens, incluindo a altura e o sistema de pastejo. Veiga et al.(2013) expõe que no manejo da pastagem com gado de leite normalmente é utilizado o pastejo rotacionado, que se caracteriza por apresentar elevada carga animal em um curto período de tempo, normalmente todo o rebanho, em uma parte do dia, com intervalo de retorno definido pelo produtor em função do desenvolvimento da pastagem ou mesmo em intervalos fixos.

Após o período do inverno, na maioria dos casos, ainda é efetuada a escarificação do solo, para romper a crosta formada pelo pisoteio animal no pastoreio da forrageira. A escarificação que afeta a estabilidade do solo, pois o revolvimento do solo reduz os macroagregados. A cobertura do solo apresenta-se como uma proteção tanto à compactação, como à erosão do solo. Como explicita Volk et. al.(2004), os resíduos culturais servem como barreira física à erosão, diminuindo a velocidade da água das chuvas. A cobertura, porém, não existe em cenário da utilização da cultura do milho para silagem, quando a parte aérea das plantas é retirada por completo.

Além disso, há ausência de rotação de culturas, pois nesse sistema, são utilizadas apenas gramíneas. Segundo Tormena (2009) a diversidade de raízes e a maior adição de matéria orgânica em sistemas de rotação modificam inúmeras propriedades físicas conjuntamente, além da criação de bioporos, reduzindo até, os riscos de déficit hídrico. E qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (BROOKES, 1995). A população de organismos do solo revela natureza dinâmica e é facilmente afetada por distúrbios físicos, causados pelo cultivo (DE KIMPE & WARKENTIN, 1996).

1.1 TEMA

Avaliação dos atributos físicos do solo em lavouras cultivadas sob sistema de integração lavoura-pecuária, contrapondo com outras situações encontradas nas propriedades.

1.2 PROBLEMA

Poucas informações sobre os atributos físicos de lavouras cultivadas sob sistemas de integração lavoura pecuária intensivos voltados à produção leiteira, representativos da região de Cerro Largo, RS.

1.3 HIPÓTESE

Diferentes agentes degradantes em lavouras sob sistema integração lavoura-pecuária causam alterações dos atributos físicos do solo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve por objetivo realizar um diagnóstico sobre a ação do sistema de integração lavoura-pecuária nos atributos físicos do solo, relacionados com outras sistemas de produção encontrados em propriedades da região de Cerro Largo.

1.4.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar a existência de diferenças nos atributos físicos, entre as áreas avaliadas.

Relacionar os resultados com os diferentes agente degradantes do solo nas áreas estudadas.

Verificar os atributos físicos mais afetados de acordo com o manejo utilizado.

1.5 JUSTIFICATIVA

O diagnóstico dos atributos físicos do solo tem a importância de retratar as principais características das áreas da Região de Cerro Largo, caracterizando as diversas situações encontradas, orientando melhores ações para a conservação do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A densidade, macro e microporosidade são propriedades indiretamente relacionadas ao desenvolvimento das plantas (REICHERT et al., 2003), segundo Freddie (2008) a qualidade física do Latossolo Vermelho para o cultivo do milho foi assegurada até à densidade do solo de $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$. E a produtividade dos híbridos de milho foi significativamente menor quando a resistência do solo à penetração atingiu 2,15 MPa. Já segundo Foloni (2003) o sistema radicular do milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica da ordem de 1,4 MPa.

Já, os estudos de Tavares Filho (2001) em um Latossolo Roxo mostraram que valores de resistência do solo à penetração superiores a 3,5 MPa não restringiram desenvolvimento radicular do milho, porém influenciaram a sua morfologia. O plantio direto apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular do que o sistema convencional, tendo sido sua resistência mais afetada pela distribuição estrutural do que pela umidade do solo.

2.1.1. Porosidade do solo

A porosidade é a fração volumétrica do solo ocupada com ar e ou água. Para determinar a porosidade total do solo é necessário que tenham sido determinadas a densidade dos sólidos e a densidade do solo (KLEIN, 2012).

A porosidade dos solos é de grande importância física, devido a mecanismos como a retenção e fluxo de água e ar (REINERT & REICHERT, 2006), além da transferência de gases, assim como, também, a atividade biológica (SILVA, 2012).

Os poros do solo podem ser separados em duas classes principais: macroporos, quando os poros têm diâmetro maior do que 0,06 mm, e microporos, quando os poros são menores do que 0,06 mm (KIEHL, 1979). Já, Richards (1965)

classifica em macroporos os poros com diâmetro maior do que 0,05 mm e microporos os com diâmetro menor do que 0,05 mm.

Os microporos são definidos também como poros de armazenamento de água às plantas, enquanto os criptoporos são aqueles poros nos quais a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas, sendo essa a água que o solo retém quando o seu potencial mátrico se encontra abaixo do ponto de murcha permanente (< -1500 kPa) (KLEIN, 1998).

A porosidade do solo é dependente da textura, do grau de compactação do solo e do teor de matéria orgânica. Assim, solos argilosos, ricos em matéria orgânica apresentam maior porosidade total, quando não estão compactados. Em geral solos arenosos apresentam porosidade total de 35 a 50%, predominando macroporos, já os solos argilosos apresentam porosidade total de 40 a 60% tendo predomínio de microporos (AZAMBUJA, 1996).

Os solos argilosos em relação aos arenosos, possuem maior porosidade, porém, maior micro e menor macroporosidade, maior densidade, alta retenção de água (REINERT & REICHERT, 2006).

Como mostra o estudo de Lanzas et al.(2007), onde avaliou a influência do milho (*Zea mays* L.), em rotação com as pastagens de inverno, em amenizar ou agravar a ação compactadora do pisoteio bovino. Com a cultura de milho, o solo mostrou-se menos sensível ao pisoteio bovino, porém o milho foi destinado à produção de sementes, havendo adição de matéria-seca no solo, diferentemente com o que ocorre quando ele é destinado à ensilagem. Também concluiu que a microporosidade do solo não foi, significativamente, alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas, porém cultura do milho fez com que os valores de microporosidade fossem incrementados. Contudo, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino.

Conforme Bergamim (2010) a microporosidade do solo não foi alterada pela compactação induzida pelo tráfego de um trator agrícola, já a macroporosidade do solo é um bom indicador da sua qualidade para avaliações de comprimento e superfície radicular, onde um limite crítico de macroporosidade de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ já se oferece uma condição desfavorável ao crescimento radicular do milho.

Em área de integração lavoura e pecuária os maiores valores de densidade do solo e macroporosidade, e menores de porosidade total e microporosidade em sequências de operações de semeadura, tratos fitossanitários e colheita, nos tratamentos sem a inclusão de pastagens, foi mais intensa que nos tratamentos com rotação com pastagens (SPERA et.al., 2004).

Para a cultura no milho há uma faixa de porosidade de aeração entre 0,05 e 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, em que o crescimento da planta aumenta com o acréscimo da porosidade de aeração (REICHERT, et al., 2009). Uma macroporosidade mínima de 0,14 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ foi estimada por Hodgson & MacLeod (1989) para que ocorresse difusão de gases em um solo argiloso.

2.1.2. Densidade do solo e grau de compactação

Dentre as propriedades utilizadas para avaliar a compactação do solo, a densidade é considerada a mais segura, pois apresenta menor ou nenhuma dependência de outros fatores, como a umidade (REICHERT, 2007).

Segundo Klein (2012), a densidade do solo é o quociente da massa dos sólidos pelo volume, sendo afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros.

Reichert et al. (2003), propuseram como valor crítico de 1,45 Mg m^{-3} para solos com textura argilosa (> 55% de argila). Conforme Suzuki (2005), em um solo com 65,4% de argila, 26,1% de silte, e 8,6% de areia, uma densidade de 1,36 Mg m^{-3} e macroporosidade de 0,05 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, já ocasionam redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho. Ainda, segundo Aratani et al. (2009), todos os sistemas de manejo aumentam a densidade do solo em relação à mata natural.

No entanto, a densidade é dependente da granulometria, do teor de matéria orgânica do solo, e sozinha, não indica precisamente a compactação do solo. Por isso é mais segura a utilização da densidade do solo relativa, que é a razão entre a densidade do solo e a densidade de referência para quantificar o estado físico do solo. Como já relatavam Carter (1990), Hakansson (1990), Lipiec et al.(1991) e Silva

et al., (1997) a relação entre a densidade atual do solo e a densidade de referência ou compactação máxima ($D_{s_{ref}}$) é útil na caracterização da compactação e da resposta das culturas em diferentes tipos de solos.

A avaliação do grau de compactação, elimina o efeito da granulometria do solo relacionando apenas a densidade atual do solo com a densidade do solo máxima (REICHERT, et al. 2007). Hakansson (1990) também afirma que a influência da textura do solo sobre o valor do grau de compactação é pequena. E assim como a densidade do solo, o grau de compactação também é independente do fator umidade (REICHERT et al. 2006). O grau de compactação ótimo para as culturas, considerando a produtividade, encontra-se entre 77 e 88 %. (REICHERT, 2007).

2.1.3 Resistência do solo à penetração

A resistência à penetração mostra-se como um complemento às demais avaliações, devido a ser mais sensível em detectar a compactação do que a densidade do solo e porosidades, especialmente para camadas de solo pouco espessas (ABREU et. al, 2004).

A resistência à penetração se relaciona com a densidade do solo, sendo afetada pela umidade do solo (BUSSCHER et al., 1997). Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas (BELTRAME et al., 1981).

A resistência à penetração está diretamente relacionada à ocorrência da compactação, devido à sua estreita relação com a diminuição da densidade e porosidade do solo (SILVA, 2012). Collares et al. (2008) observaram que a compactação adicional exercida por quatro passadas de trator aumentou a resistência à penetração nas camadas mais superficiais, e mesmo quando o solo apresentou alta umidade, os valores de resistência permaneceram acima de 2 Mpa.

2.2.INFLUÊNCIAS DO MANEJO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Para o manejo do solo a condição da umidade é muito importante, uma vez que os efeitos sobre a estrutura são dependentes dessa condição. (DALLA ROSA, 1981). Em sistemas de integração lavoura-pecuária sob preparo convencional com aração e gradagens, verificou-se diferença entre os valores de cada atributo físico, entre as camadas de 0-5 e 10-15 cm, indicando presença de efeito residual de pé-de-arado ou pé-de-grade (SPERA et.al.,2004).

Operações que envolvam mobilização e ou tráfego de máquinas alteram substancialmente a estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. Na maioria das vezes há degradação da qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores parecem ser a agregação e a compactação. Nos solos argilosos, a compactação ocorre com maior intensidade, entretanto, eles são mais resistentes à desagregação (REICHERT, 2007).

De acordo com Costa (2003), o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas em longo prazo.

2.3.SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A integração lavoura-pecuária é a diversificação, rotação, consorciação ou sucessão das atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural de forma planejada, de tal maneira que há benefícios para ambas (ALVARENGA & NOCE, 2005).

As áreas de lavouras dão suporte à pecuária por meio da produção de alimento para o animal, seja na forma de grãos, silagem e feno, seja na de pastejo direto, aumento da capacidade de suporte da propriedade, permitindo a venda de animais na entressafra e proporcionando melhor distribuição de receita durante o ano (MELLO et al., 2004).

A Integração Lavoura-Pecuária (ILP), pode ser definida como um sistema de produção em que a criação animal está intimamente associada à produção de grãos,

havendo alternância dessas com a produção de forragem (PAULINO et al., 2006), ou seja, o uso da terra é alternado, no tempo e no espaço, entre lavoura e pecuária (VILELA et al.; 2008).

Conforme Cavallini (2009) ela é uma das alternativas para viabilizar a agropecuária brasileira, aumentando a receita do agricultor e/ou do pecuarista. Uma das principais vantagens é a de que o solo seja explorado economicamente durante todo o ano ou, pelo menos, na maior parte dele, favorecendo o aumento na oferta de grãos, de carne e de leite a um custo mais baixo, isto, devido ao sinergismo que se cria entre a lavoura e a pastagem (ALVARENGA & NOCE, 2005).

A forma de implantação da pastagem é um dos aspectos que pode afetar o grau de compactação das lavouras manejadas sob ILP, sendo normalmente utilizadas a semeadura direta ou a semeadura a lanço e incorporação das sementes com grade. Esse último sistema ainda é o mais utilizado para implantação de pastagem de inverno em pequenas e médias propriedades no Sul do Brasil, segundo FLORES et al. (2007), resultando em revolvimento e redução da resistência à compactação da camada superficial do solo e, conseqüentemente, aumento do potencial de compactação pelo pisoteio dos animais (VEIGA et al., 2007).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes propriedades físicas, como a estabilidade de agregados, a densidade e a porosidade do solo (ARATANI et al., 2009).

A estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica podem aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas devido à combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante, e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens (MARCHÃO et al., 2007). Este processo é rapidamente revertido quando o solo volta a ser preparado (MARCHÃO, 2007).

2.4. A SUCESSÃO DE PASTAGEM E MILHO PARA SILAGEM

A cultura do milho se destaca no contexto da integração lavoura-pecuária (ILP), e segundo Alvarenga et al. (2006) isto se deve às inúmeras aplicações que esse cereal tem dentro da propriedade agrícola quer seja na alimentação animal na forma de grãos ou de forragem verde ou conservada (rolão, silagem).

O milho é o cereal de referência para silagem em virtude da produtividade e valor nutritivo da forragem produzida (FONTANELI et al., 2012). Porém, a compactação pode reduzir a produtividade das culturas, sendo a cultura do milho sensível a este processo (ALBUQUERQUE et al., 2001).

O uso de pastagens de inverno com integração de lavouras de verão, conhecido como sistema de integração lavoura-pecuária, pode levar a aumentos da produtividade do rebanho gaúcho (natalidade, desfrute) tornando viável a terminação de bovinos na entressafra e promovendo as melhorias no solo que poderão favorecer a cultura no verão. Através da diversificação e rotação das atividades de agricultura e de pecuária dentro da propriedade, constituindo um único sistema, com benefícios para ambas, onde o diferencial é o planejamento das atividades (CASSOL, 2003).

2.5. DEGRADAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

O revolvimento do solo, de acordo com Albuquerque et al. (2005), é em muitos casos necessário devido à compactação, pois elimina as plantas espontâneas e rearranja as partículas do solo, resultando numa maior aeração e infiltração de água logo após o preparo. No entanto, reduz a estabilidade de agregados, principalmente dos macroagregados (ALVARENGA et al., 1986), aumentando os riscos à erosão hídrica (SIDIRAS et al., 1984) e o assoreamento de rios e lagos. (ALBUQUERQUE et al., 2001).

A utilização das pastagens de inverno para pastoreio bovino pode limitar consideravelmente a quantidade de palha destinada à cobertura de solo, comprometendo então a sustentabilidade da atividade agropecuária como explicita Nicoloso et al.(2006).

O pisoteio animal ocasiona aumento da densidade do solo e redução da porosidade total. Nos primeiros cinco cm da superfície do solo, ocorre aumento da densidade do solo. Seis meses sem pisoteio não foram suficientes para que as raízes das plantas realizassem a descompactação do solo (VZZOTTO, 2000).

Para Flores (2007) a densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas, em relação à não-pastejada. A população inicial de plantas e o rendimento de soja não foram afetados pelas alterações nos atributos físicos do solo. E, diferentemente de Vzzotto (2000), constatou que os efeitos no adensamento do solo ocasionados pelo pisoteio, ou seja, na camada superior, são reversíveis, pois a densidade, principalmente, e a macroporosidade, que mais sofreu interferência, retorna à condição original a cada cultivo da soja.

O estudo de Silva (2000) constatou que o pisoteio animal não teve efeito sobre as características físicas, possivelmente pelo fato de haver grande quantidade de resíduo de pastagem. A densidade do solo no plantio direto, na camada de 5-10 cm, não variou entre a área pastejada e a não pastejada. No preparo convencional de solo, houve uma pequena variação, maior para a área pastejada, mas não significativa entre elas. A produtividade de grãos de milho e de silagem não foi afetada pelo pastejo ou pelo preparo do solo. O sistema de manejo do solo teve maior influência na densidade do solo do que o pisoteio animal, considerando o controle da carga animal ajustado ao crescimento da pastagem.

A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas (KLEIN, 2012).

A qualidade física do solo merece destaque especial em novos estudos, pois se acredita que tem grande efeito nos processos químicos e biológicos no solo, porém pouco explorado nos estudos de qualidade do solo (DEXTER, 2004).

Um dos fatores que modificam o grau de compactação do solo é o sistema de preparo (ALBUQUERQUE et al., 2001). A degradação do solo, devido à compactação, à lixiviação e erosão do solo, pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, causam compactação em diversas profundidades. Segundo Reichert et al. (2007) e Albuquerque et al. (2001) “antropicamente, o solo pode

tornar-se compactado principalmente pelo uso de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio de animais”.

Lanzanova et al.(2007) e Cassol (2003) observaram efeito do pisoteio bovino na densidade e na macroporosidade do solo, com consequente diminuição da taxa de infiltração de água. E, ainda, segundo Trein et al. (1991), o pisoteio causa efeito praticamente instantâneo nos atributos físicos do solo, principalmente na macroporosidade, que é a principal reguladora do fluxo de água no solo.

Porém, Spera et al. (2004), constatou que o pisoteio, nos tratamentos submetidos a pastagens anuais, não parece ter afetado, após quatro anos, os atributos físicos de solo o suficiente para promover prejuízos ao rendimento de culturas. Flores (2004) não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta e azevém, manejada a alturas variando de 0,10 a 0,40 m.

A compactação do solo vem se intensificando devido ao uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas (REICHERT et al., 2007). Segundo Costa (2003) maiores densidade do solo sob preparo convencional em relação ao plantio direto na camada de 0,1-0,2 m, provavelmente foram decorrentes da transmissão da pressão realizada na superfície do solo pelas máquinas e implementos, pela compressão exercida pela lâmina dos discos do arado, bem como do pneu do trator rodando no sulco de aração naquele sistema.

Ainda, segundo resultados obtidos por Costa (2003) em um Latossolo Bruno, havendo o cuidado de realizar-se o trânsito de máquinas em condições adequadas de umidade do solo, não ocorrem problemas com compactação e, portanto, não há necessidade de revolvê-lo periodicamente.

O pastoreio excessivo faz também aparecer áreas descobertas de vegetação, acelerando a erosão laminar, influenciando até na fertilidade do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).A ausência de cobertura vegetal deixa o solo suscetível à ação das chuvas, como os processos de desagregação e o salpicamento, que pode ocasionar o selamento ou encrostamento da superfície do solo, reduzindo ou eliminando a infiltração da água (MACEDO, 2009), tornando o solo mais suscetível à erosão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram realizados em propriedades da região de Cerro Largo, nas Missões do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado em propriedades da região de Cerro Largo.

Foram selecionadas 8 áreas, sendo elas: três áreas manejadas sob sistema de integração lavoura-pecuária com silagem, além delas foram selecionadas áreas para contrapor os dados; três áreas de Tifton, onde há o impacto do pisoteio animal, e tráfego de máquinas no momento da fenação e roçada, marcadas porém, sempre de cobertura vegetal. Também fez parte do trabalho uma área de plantio direto voltado somente ao plantio de culturas para grãos, onde não ocorre o pisoteio animal, apenas tráfego de máquinas, com palhada sobre o solo, porém menos cobertura vegetal que as áreas de Tifton. E, por fim, uma área de pastagem de inverno e verão, com semeadura realizada com máquina semeadora de plantio direto, ocorrendo nesta área a ação do tráfego de máquinas, pisoteio animal, com alguma palhada sobre a superfície.

O diagnóstico das condições físicas do solo foi realizado pela coleta de amostras de solo indeformadas. Para a coleta das amostras de solo em cada propriedade, as áreas foram divididas em glebas homogêneas, observando-se as classes de solo, o relevo e o histórico de cultivo da área. As amostragens foram realizadas no período de agosto a outubro do presente ano. Para cada gleba identificada, foram abertas 5 trincheiras, com auxílio da pá de corte, perpendicularmente ao sentido de trabalho do solo pelos implementos (linha da semeadura) a uma profundidade de aproximadamente 35 cm, onde foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em anéis metálicos de massa e volume conhecidos em três profundidades (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm) sendo utilizado um anel por profundidade estabelecida. E, a partir destas, foram mensuradas: a textura do solo, pelo método da pipeta, a umidade do solo; e a densidade do solo, pelo método do anel volumétrico descrito e a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

Cada amostra foi fechada e levada ao laboratório de física do solo, onde passaram inicialmente por limpeza dos anéis, pesagem e posterior saturação em água, seguidos da aplicação de tensão de 60 cm de coluna da água e secagem em estufa a 105 °C, sendo que para cada operação foi realizada a pesagem dos anéis posterior ao procedimento.

Foram também coletadas amostras de solo com estrutura alterada para a análise granulométrica e determinação da densidade das partículas, onde em laboratório foram secas ao ar para serem posteriormente analisados.

A determinação da resistência do solo à penetração foi realizada com medidor eletrônico de resistência do solo, ou penetrômetro, modelo FALKER PenetroLOG, com aptidão eletrônica para aquisição de dados, extraídos e analisados, selecionados apenas uma profundidade máxima de 30 cm. Foram amostrados 5 pontos em cada área com posterior elaboração de um gráfico relacionando a profundidade amostrada com a pressão aplicada para penetração no perfil do solo (kPa).

As propriedades físicas do solo avaliadas foram: textura pelo método da pipeta, densidade da partícula (DP), pelo método do balão volumétrico; densidade do solo (Ds), pelo método do anel volumétrico; grau de compactação do solo (GC), calculado pela relação:

$$GC = \frac{Ds}{Dsmáx} \times 100$$

Onde o valor da densidade referência (Dsmáx) é dado através da expressão de Marcolin e Klein (2011):

$$Dsmáx = 2,03133855 - 0,00320878 \times \text{Matéria orgânica} - 0,00076508 \times \text{Argila}$$

Porosidade total (Pt) calculada pela expressão:

$$Pt = 1 - \frac{Ds}{Dp}$$

Microporosidade (Mip), pelo método da mesa de tensão, e a macroporosidade (Map) calculada pela expressão:

$$Map = Pt - Mip$$

Essas avaliações foram executadas no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, seguindo-se a metodologia descrita em Embrapa (2011).

Além disso, de acordo com a classe de textural serão encontrados os limites críticos dos indicadores físicos dos solos. E a interpretação dos parâmetros físicos será baseada em valores de referência para cada um, sendo então realizada a análise interpretativa e descritiva dos dados, correlacionando os resultados entre os diferentes sistemas de produção. Sendo realizada também a média das condições avaliadas, bem como determinação do coeficiente de variação e desvio padrão dos dados

Os valores críticos de densidade foram baseados na análise granulométrica das áreas avaliadas (Tabela 1.), sendo comparados com a densidade atual do solo, enquanto que o resultado do grau de compactação foi calculado a partir da densidade do solo máxima estimada.

Nos resultados das avaliações da porosidade do solo, foram avaliadas três profundidades, de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. O limite crítico de porosidade do solo, segundo Grable & Siemer (1968) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para que a difusão de oxigênio atenda à demanda do sistema radicular

O valor de porosidade total deve ser superior a 30%, valor este, tido como limite mínimo aceitável para que ocorra desenvolvimento radicular das culturas (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DENSIDADE DO SOLO, GRAU DE COMPACTAÇÃO E POROSIDADE DO SOLO

Os valores críticos de densidade tiveram base na granulometria dos solos das diferentes áreas (Tabela 1), estes foram comparados com a densidade atual do solo, enquanto que o grau de compactação foi calculado a partir da densidade do solo máxima estimada (Tabela 2.).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 para a densidade do solo (DS) e grau de compactação (GC) mostram que o manejo aplicado nas diferentes propriedades proporcionaram diferenças dos valores de densidade e grau de compactação entre as diferentes áreas.

Tabela 1. Teor de argila, areia e silte e classe textural e os correspondentes valores críticos de densidade do solo (Ds) das áreas.

Área	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Classe textural	Valor crítico (Ds) Mg/m ⁻³
T I	27,9	13,00	57,62	Franco-argilo-siltosa	1,56*
S I	34,63	10,23	55,14	Franco-argilo-siltosa	1,56*
T II	27,21	11,45	61,37	Franco-argilo-siltosa	1,56*
S II	36,06	10,57	53,37	Franco-argilo-siltosa	1,56*
PD	39,01	10,40	50,49	Argilo-siltosa	1,52*
P	50,36	12,80	36,84	Argilosa	1,3 a 1,4*
TIII	29,63	14,92	55,45	Franco-argilo-siltosa	1,56*
SIII	31,46	18,92	49,61	Franco-argilo-siltosa	1,56*

T I = Tífton I; S I = Silagem I; T II = Tífton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tífton III; S III = Silagem III.

(*) Valor crítico descrito por Reichert et al. (2009) para as classes texturais do solo.

Tabela 2 - Teor de argila e matéria orgânica (MO) e densidade do solo máxima (Dsmáx).

Área	Profundidade (cm)	Argila (%)	M.O (%)	Dsmáx
T I	0-10	27,97	2,6	1,73
T I	10-20	27,75	2,6	1,74
T I	20-30	27,75	2,6	1,74
S I	0-10	32,22	2,6	1,70
S I	10-20	34,41	2,6	1,68
S I	20-30	34,41	2,6	1,68
T II	0-10	23,38	3,0	1,76
T II	10-20	24,24	3,0	1,75
T II	20-30	29,12	3,0	1,71
S II	0-10	31,03	3,1	1,69
SII	10-20	32,28	3,1	1,68
SII	20-30	41,46	3,1	1,61
PD	0-10	40,62	3,0	1,62
PD	10-20	35,73	3,0	1,66
PD	20-30	37,82	3,0	1,65
P	0-10	64,31	2,9	1,45
P	10-20	37,85	2,9	1,65
P	20-30	37,85	2,9	1,65
T III	0-10	28,54	3,3	1,71
T III	10-20	28,82	3,3	1,70
T III	20-30	28,82	3,3	1,70
S III	0-10	24,94	3,0	1,74
S III	10-20	35,99	3,0	1,66
S III	20-30	35,99	3,0	1,66

T I = Tífton I; S I = Silagem I; T II = Tífton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tífton III; S III = Silagem III.

Tabela 3 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Tífton I (T I), Tífton II (T II) e Tífton III (T III).

Camada	Área	CV	Desvio
--------	------	----	--------

					Padrão
(m)	T I	T II	T III	(%)	
Densidade do solo (Mg/m ³)					
0-10	1,32	1,35	1,44	4,36	0,06
10-20	1,52	1,43	1,42	4,50	0,07
20-30	1,48	1,41	1,45	5,26	0,08
Grau de compactação (%)					
0-10	76,00	76,97	84,19	8,16	6,39
10-20	87,57	81,83	83,17	3,76	3,19
20-30	85,13	82,61	83,80	2,82	2,37
Porosidade total (m ³ m ⁻³)					
0-10	0,53	0,52	0,49	7,67	0,04
10-20	0,46	0,49	0,49	4,16	0,02
20-30	0,47	0,49	0,48	2,71	0,01
Microporosidade (m ³ m ⁻³)					
0-10	0,34	0,36	0,37	19,44	0,07
10-20	0,37	0,36	0,43	12,58	0,05
20-30	0,33	0,40	0,41	4,42	0,02
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)					
0-10	0,19	0,05	0,13	49,08	0,08
10-20	0,11	0,13	0,08	47,45	0,05
20-30	0,14	0,09	0,08	24,65	0,02

T I = Tífton I; S I = Silagem I; T II = Tífton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tífton III; S III = Silagem III.

Dentre as áreas de Tífton avaliadas (Tabela 3), a densidade do solo não chegou ao limite restritivo para as culturas, proposto por Reichert et al. (2009). Variando, os valores maiores, que se concentraram na segunda camada avaliada nas duas primeiras áreas, e na ultima camada na ultima área. Já, o grau de compactação não foi superior ao considerado ótimo para o desenvolvimento das culturas neste sistema avaliado.

O grau de compactação das três áreas esteve dentro do intervalo ótimo para o desenvolvimento das culturas, e por vezes esteve até abaixo deste limite, nas camadas de 0 a 10 cm das duas primeiras áreas (Tífton I e Tífton II), o que segundo Reichert et al. (2007) pode indicar um solo sem estrutura, comprometendo a retenção de água e o contato solo-semente na semeadura.

De acordo com a tabela 3, acima na área de Tífton 1, pode-se perceber valores de macroporosidade abaixo do limite mínimo nas áreas de Tífton II e Tífton III. Decorrentes, provavelmente ao mau manejo do solo, entrada nas áreas em condições inadequadas de umidade. Estes valores críticos para o desenvolvimento

da culturas possivelmente são determinados pelo uso da área III com Tifton durante mais de 20 anos, e ao fato de haver entrada dos animais em dias após chuvas, quando o solo está com umidade elevada, potencializando a compactação.

A compactação mais profunda percebida nas áreas de Tifton pode ser decorrente da pressão exercida pelas máquinas no momento da fenação, que é feita a cada 40 dias aproximadamente nesta área. Além da ação das raízes, que é mais intensa nas primeiras camadas, descompactando a camada superficial do solo. O impacto do pisoteio animal e tráfego de máquinas também é minimizado, visto que a grande quantidade de massa foliar da cultura do Tifton atua absorvendo tais impactos. Demonstrando também, uma maior porosidade na camada mais profunda do solo, que não recebe ação de pisoteio e de pressão de sulcadores de plantio direto. Pois nestas lavouras, durante o inverno, ocorre a semeadura de pastagem de aveia com máquina de plantio direto

Tabela 4 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC) porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Silagem I (S I), Silagem II (S II) e Silagem III (S III).

Camada (m)	Área			CV (%)	Desvio Padrão
	S I	S II	S III		
Densidade do solo (Mg/m ⁻³)					
0-10	1,35	1,34	1,43	4,19	0,06

10-20	1,43	1,34	1,51	3,51	0,05
20-30	1,34	1,28	1,48	5,54	0,07
Grau de compactação (%)					
0-10	79,47	79,03	81,73	6,40	5,12
10-20	85,04	79,34	90,93	3,19	2,73
20-30	79,34	79,28	89,00	4,99	4,11
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
0-10	0,52	0,52	0,49	6,14	0,03
10-20	0,49	0,52	0,46	3,36	0,02
20-30	0,52	0,54	0,47	4,78	0,02
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
0-10	0,36	0,38	0,36	9,26	0,03
10-20	0,31	0,40	0,35	6,23	0,02
20-30	0,36	0,39	0,36	7,19	0,03
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
0-10	0,16	0,14	0,13	34,51	0,05
10-20	0,12	0,12	0,11	22,40	0,03
20-30	0,11	0,15	0,11	19,80	0,03

T I = Tifton I; S I = Silagem I; T II = Tifton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tifton III; S III = Silagem III.

As áreas de silagem também não chegaram ao limite crítico para o desenvolvimento das culturas na densidade, apresentando maiores valores na camada de 10 a 20 cm. Porém, o grau de compactação se apresentou limitante na área de Silagem III, nas camadas entre 10 e 30 cm do solo. Revelando a situação de manejo inadequada da área.

Pois como mostram resultados de Conte et al. (2011) que em seu trabalho observaram que não houve alterações significativas na densidade e na porosidade do solo após sete anos de sistema de integração lavoura-pecuária, o manejo inadequado, porém pode alterar os atributos físicos do solo.

Na área de Silagem III área a semeadura da silagem ocorre há mais de 20 anos por meio de semeadura direta, a camada mais compactada pode ser devido á ação dos sulcadores da semeadora, formando o chamado pé-de-plantio-direto, juntamente com a ação da pressão exercida pelos pneus das máquinas.

Esta compactação se deve ao fato da ausência de cobertura vegetal na lavoura de Integração lavoura-pecuária após o corte da silagem, ocorrendo selamento superficial com a ação das chuvas e trânsito de máquinas agrícolas sobre a superfície.

Os valores de porosidade total foram superiores ao limite mínimo crítico para as culturas, de $0,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Semelhante ao que obtiveram MELO et al. (2014) no sistema de cultivo com soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho apresentou valores de macroporosidade acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Suzuki (2005) verificou que o aumento do grau de compactação reduziu linearmente a macroporosidade e aumentou linearmente a resistência do solo à penetração.

Ainda, segundo o autor, (SUZUKI, 2005), o alto grau de compactação pode reduzir a porosidade do solo, diminuindo sua aeração e aumentando a densidade e a resistência do solo à penetração, dificultando o crescimento radicular.

A densidade das áreas de integração lavoura-pecuária com Silagem, esteve abaixo dos valores para áreas de Tifton, excetuando-se a área de Silagem III, que foi a área com maior grau de compactação. Demonstrando a importância do manejo do solo, com manutenção da palhada do solo, rotação de culturas, entrada na lavoura em condições adequadas de umidade.

Tabela 5 - Densidade do solo (DS), Grau de compactação (GC) porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para as áreas de Plantio Direto (PD) e Pastagem.(P).

Camada (m)	Área		CV (%)	Desvio Padrão
	PD	P		
Densidade do solo (Mg/m ⁻³)				
0-10	1,34	1,32	3,86	0,05
10-20	1,37	1,32	3,87	0,05
20-30	1,36	1,31	6,71	0,09
Grau de compactação (%)				

0-10	82,52	91,10	5,26	4,55
10-20	82,27	79,82	5,81	4,69
20-30	82,76	79,21	4,70	3,80
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
0-10	0,52	0,53	4,76	0,02
10-20	0,51	0,53	5,29	0,03
20-30	0,51	0,53	4,26	0,02
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
0-10	0,36	0,38	10,28	0,04
10-20	0,39	0,39	9,00	0,04
20-30	0,41	0,41	9,85	0,04
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
0-10	0,16	0,15	17,24	0,03
10-20	0,12	0,14	12,97	0,02
20-30	0,11	0,13	58,21	0,07

T I = Tifton I; S I = Silagem I; T II = Tifton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tifton III; S III = Silagem III.

A área de Pastagem apresentou valores de densidade dentro do limite crítico de 1,3 a 1,4 Mg/m^3 , nas duas primeiras camadas. Assim como alto grau de compactação na primeira camada do solo, de 0 a 10 cm, coincidindo com os estudos de Veiga et al. (2014) onde a densidade do solo aumentou na primeira camada, e Jesus (2006), que também observou aumento da densidade do solo em função do pisoteio animal mais evidentes na camada de 5 a 10 cm.

Na área de Plantio direto avaliada, a maior densidade se concentrou na segunda camada, de 10 a 20 cm, porém não chegando a níveis restritivos. Reichert et al. (2008) denominam a maior densidade nesta camada como “pé-de-plantio-direto”, devido à compactação causada pelos sulcadores das máquinas semeadoras-adubadoras.

Já, a área de Plantio direto apresentou macroporosidade média menor na camada de 20 a 30 cm.

Os valores de macroporosidade média da área de Silagem III tiveram médias semelhantes, e leve diminuição com o aumento da profundidade, não demonstrando valores críticos ao desenvolvimento das culturas.

A média macroporosidade da área de pastagem não diferiu entre as camadas, apresentado apenas um ponto, na camada de 20 a 30 onde ela se torna crítica, com o valor de 0,08 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

A área de pastagem também revelou diminuição da macroporosidade, tanto na primeira camada do solo, como na camada de 20 a 30 cm, demonstrando também que o pisoteio animal não é o único agente degradante em áreas em que ocorre o pastoreio.

Já, a área de Plantio direto apresentou redução da macroporosidade, principalmente na camada de 10 a 20 cm. Lanza et al. (2007) obtiveram resultados de que a compactação do solo concentrou-se na camada de 0 a 5 cm, com redução da macroporosidade na camada dos 10 aos 15 cm, em um sistema com alta frequência de pastejo.

Pode-se ressaltar ainda, que os valores de porosidade total de todas as áreas estiveram acima do limite crítico, de $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, garantindo desenvolvimento radicular das culturas.

As áreas de integração lavoura-pecuária com silagem apresentaram boa porosidade, se comparadas às outras áreas. Diferentemente das áreas de Tifton, onde todas apresentaram macroporosidades críticas, variando as profundidades, revelando ação não apenas do pisoteio animal, mas também possivelmente da ação da pressão do maquinário agrícola, no momento da roçada, muitas vezes, em condições inadequadas de umidade do solo.

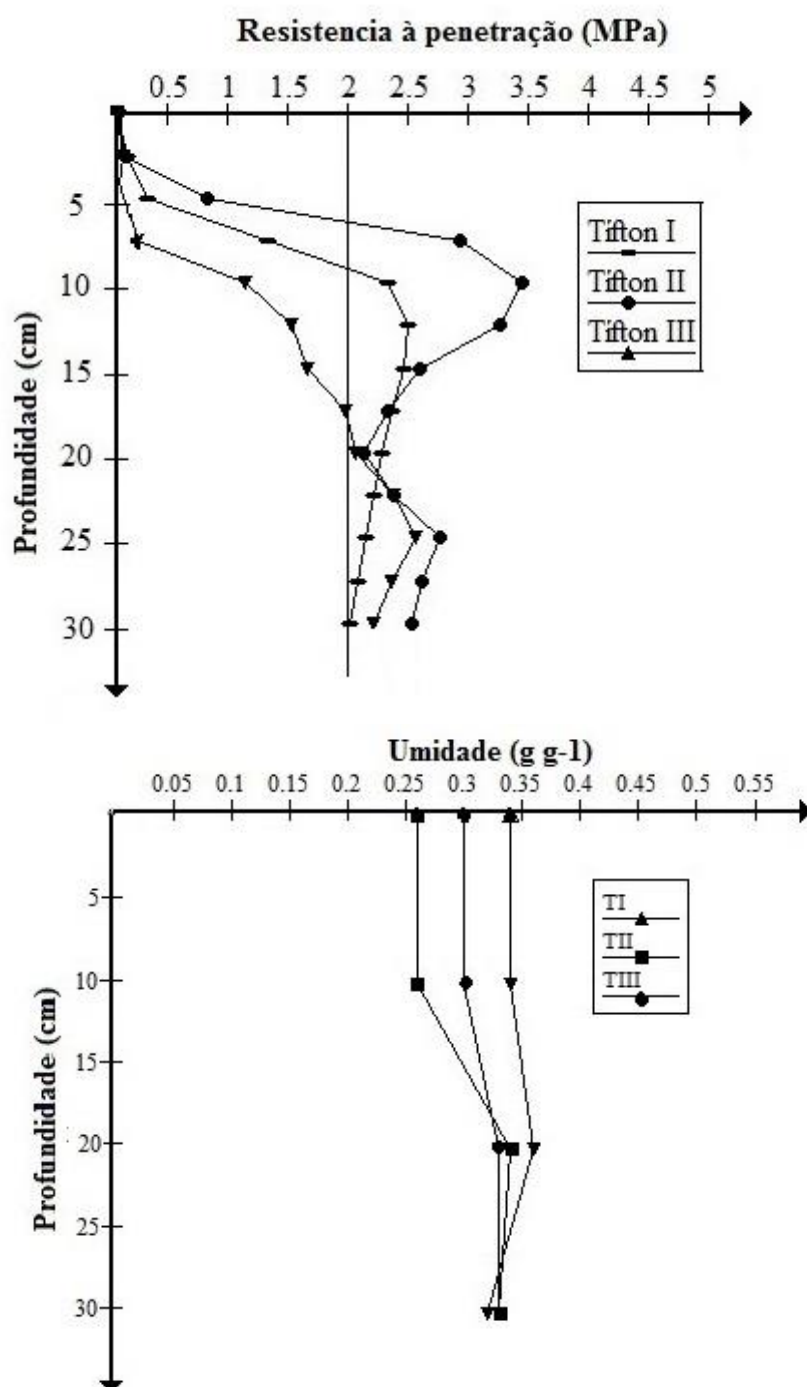
4.2. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

A resistência do solo à penetração, avaliada utilizando o método da penetrometria, indicou valores superiores a 2 MPa em todas as áreas, excetuando-se apenas a área de Silagem III. É provável afirmar que os valores obtidos podem ter sofrido influência da variação da umidade do solo, devido às coletas terem sido realizadas em datas diferentes.

A área de Tifton I, apresentou a camada dos 10 aos 30 cm com valores de resistência à penetração acima do limite crítico, de 2 MPa. Diferentemente do que mostram resultados de Conte et al. (2011) onde o pisoteio animal elevou a

resistência do solo à penetração apenas na camada de 0 a 10 cm. A área de Silagem I, diferentemente da anterior, demonstrou altos valores de resistência à penetração, acima dos 3 MPa desde os 7 cm de profundidade. A resistência à penetração da área de Silagem II demonstrou-se diferente da área anterior, apresentando valores críticos a partir dos 10 cm, com valores mais altos aos 50 cm, com 3,09 MPa.

Figura 1 - Resistência à penetração e umidade das áreas: T I = Tifton I; TII = Tifton II e TIII = Tifton III.

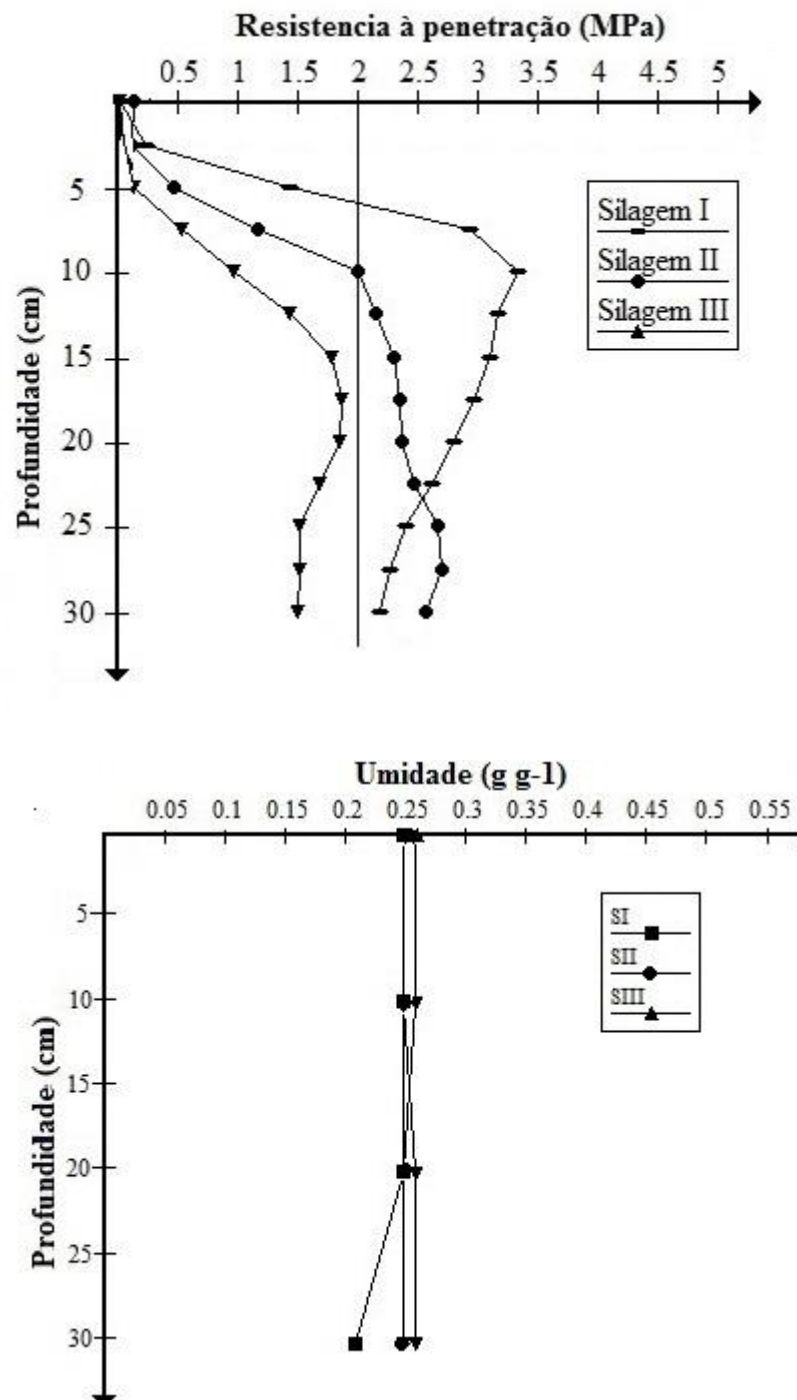


T I = Tifton I; S I = Silagem I; T II = Tifton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tifton III; S III = Silagem III.

A área de Tifton II apresentou valores altos desde os 7 cm, com 2,85 MPa, aumentando em profundidade, alcançando 3,67 MPa aos 10 cm, 2,68 MPa aos 25 cm, e 2,78 MPa aos 50 cm. Resultante, provavelmente, de uma má implantação da

cultura, e entrada na lavoura em condições inadequadas de umidade, ou alta frequência de pastejo. Pois Lanza et al. (2007) obtiveram resultados de que a compactação do solo concentrou-se na camada de 0 a 5 cm, em um sistema com alta frequência de pastejo, sendo que neste tratamento a resistência do solo à compactação atingiu o valor de 2,61 MPa na profundidade de 5 cm. Enquanto que as áreas não pastejadas atingiram valores de 1,66 Mpa. Porém diferencia-se, do que afirma o trabalho de Pereira (2014), onde o efeito do animal em pastejo ocorre sobre a resistência mecânica à penetração, somente nas camadas superficiais do solo de 0 a 20 cm.

Figura 2. Resistência à penetração das áreas: PD = Plantio Direto; T III = Tifton III.



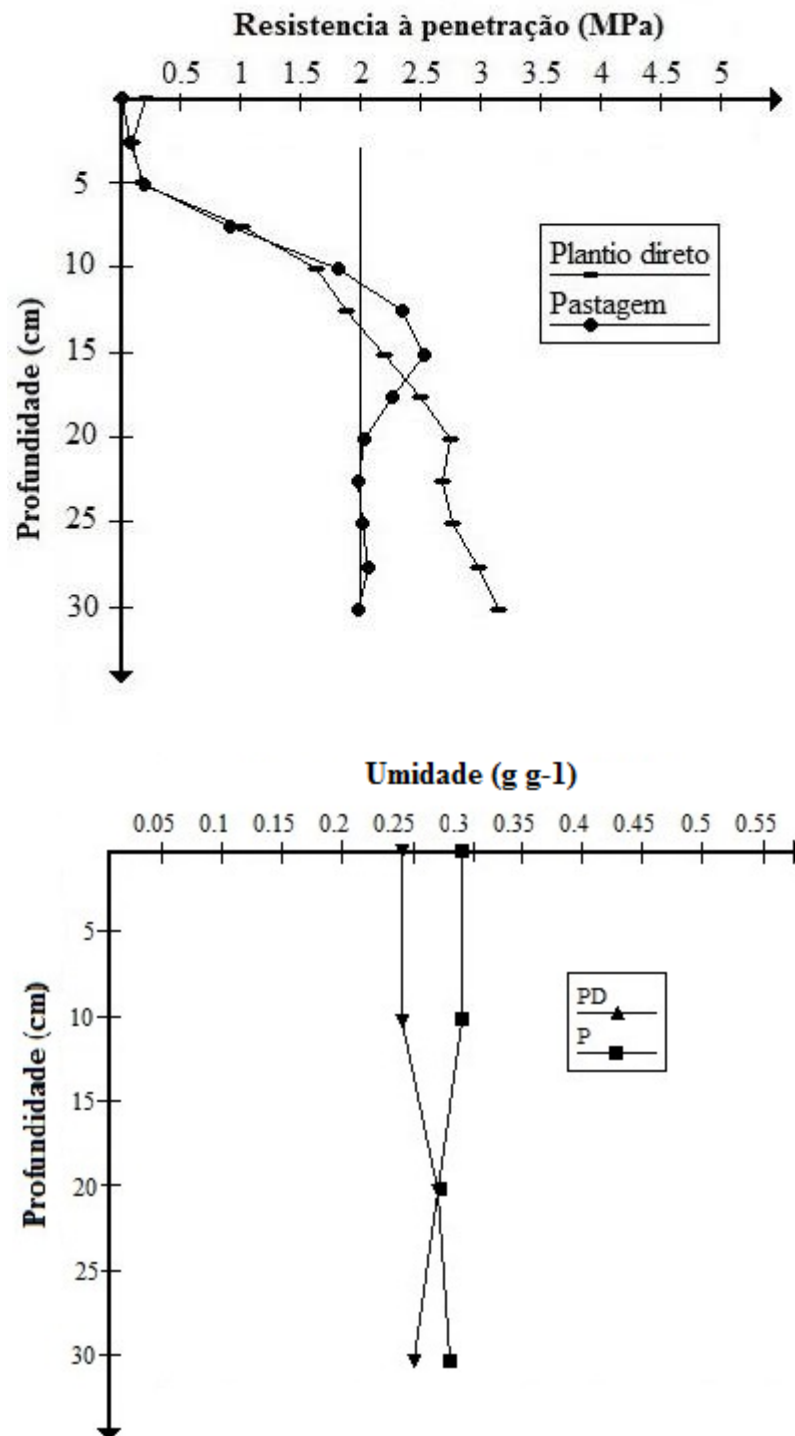
T I = Tífton I; S I = Silagem I; T II = Tífton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tífton III; S III = Silagem III.

Na área manejada com Plantio direto constatou-se valores limitantes a partir dos 15 cm de profundidade, valores estes que aumentaram gradativamente com a profundidade, chegando a 3,66 MPa aos 55 cm de profundidade. Coincidindo com o

que já afirmavam Woorhees & Lindstorm (1983), onde na semeadura direta, o tráfego de máquinas e implementos provoca compactação superficial.

A partir dos 20 cm de profundidade, a área de Tífton 3, apresentava valores limitantes de resistência à penetração, até os 35 cm de profundidade, diferente do que obteve Jesus (2006), onde a ação do pisoteio animal, sendo foi mais evidente na camada de 5 a 10 cm.

Figura 3 - Resistência à penetração das áreas: PD=Plantio Direto e P= Pastagem.



T I = Tífton I; S I = Silagem I; T II = Tífton II; S II = Silagem III; PD = Plantio Direto de Grãos; P = Pastagem I; T III = Tífton III; S III = Silagem III.

Área de Silagem III não ultrapassou o limite de resistência crítico, apenas alcançando 1,9 MPa aos 35 cm de profundidade, revelando um bom manejo realizado, uma vez que o histórico da área ter sido manejada por 20 anos com silagem.

Já a área de Pastagem apresentou valores limitantes acima de 2 MPA a partir dos 10 cm de profundidade, seguindo apenas até os 20 cm, revelados, provavelmente, pela ação do pisoteio animal, e do chamado “pé-de-plantio-direto”, ocasionado pelo atrito dos sulcadores das semeadoras.

Lanzanova et al. (2007) obtiveram resultados de que a compactação do solo concentrou-se na camada de 0 a 5 cm, em um sistema com alta frequência de pastejo, sendo que neste tratamento a resistência do solo à compactação atingiu o valor de 2,61 MPa na profundidade de 5 cm. Enquanto que as áreas não pastejadas atingiram valores de 1,66 Mpa.

Estes valores de resistência podem não ser restritivos para a cultura durante todo o ciclo, afetando seu desenvolvimento apenas em condições de umidade baixa, pois segundo o que afirmava Dexter (1987), pode haver crescimento com resistência à penetração variando entre 4,0 e 5,0 MPa, quando há umidade suficiente. Assim como afirmou Boone et al. (1987), que em solo compactado, com alta resistência, a restrição ao crescimento das plantas dependeu da distribuição pluviométrica, ou seja, das condições de umidade do solo.

5. CONCLUSÕES

As áreas de integração lavoura pecuária, no geral apresentaram melhores atributos físicos do solo, se comparadas às outras áreas.

A densidade das áreas de integração lavoura-pecuária com Silagem, esteve abaixo dos valores para áreas de Tifton, excetuando-se a área de Silagem III, que inclusive foi a área com maior grau de compactação. O que foi enfatizado nos resultados de resistência à penetração, onde as áreas de silagem apresentaram valores acima dos limites críticos logo nas primeiras camadas.

A área de pastagem apresentou os menores valores médios de densidade avaliados, bem como maior macroporosidade. Porém apresentou valores limitantes de resistência à penetração a partir dos 10 cm de profundidade.

A área de Plantio Direto apresentou camada compactada entre os 10 a 20 cm de profundidade, evidenciados pela maior densidade nesta camada, menor macroporosidade, e valores limitantes de resistência à penetração desde os 15 cm de profundidade.

Para a porosidade total, os valores de todas as áreas estiveram acima do limite crítico, de $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, garantindo desenvolvimento radicular das culturas.

Todas as áreas de Tifton apresentaram macroporosidades críticas, variando as profundidades.

As áreas de integração lavoura-pecuária com silagem apresentaram boa porosidade, se comparadas às outras áreas, apresentando apenas uma camada, de uma área com valores restritivos na macroporosidade.

ANEXO

Valores da densidade do solo (DS) e grau de compactação (GC), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos para as áreas de Tifton I e Silagem I.

Área	Ponto	Profundidade (cm)	Ds	GC
T I	1	0-10	1,39	80,28
		10-20	1,57	90,74
		20-30	1,49	85,75
	2	0-10	1,43	82,29
		10-20	1,38	79,41
		20-30	1,42	81,63
	3	0-10	1,21	70,00
		10-20	1,55	89,55
		20-30	1,47	84,94
	4	0-10	1,05	60,84
		10-20	1,56	89,85
		20-30	1,53	88,34
	5	0-10	1,50	86,60
		10-20	1,53	88,32
		20-30	1,48	85,00
S I	1	0-10	1,18	69,08
		10-20	1,47	87,41

		20-30	1,33	79,04
		0-10	1,28	75,48
	2	10-20	1,48	88,02
		20-30	1,30	77,01
		0-10	1,35	79,30
	3	10-20	1,37	81,26
		20-30	1,26	75,02
		0-10	1,48	87,26
	4	10-20	1,39	82,67
		20-30	1,46	86,41
		0-10	1,47	86,21
	5	10-20	1,45	85,82
		20-30	1,33	79,23

Valores da densidade do solo (DS) e grau de compactação (GC), na camada de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos para as áreas Tífton II (T II) e Silagem II (S II).

Área	Ponto	Profundidade (cm)	Ds Mg m ⁻³	GC (%)
T II	1	0-10	1,42	81,09
		10-20	1,39	79,22
		20-30	1,45	84,40
	2	0-10	1,28	73,02
		10-20	1,43	81,82
		20-30	1,38	80,31

S II	3	0-10	1,33	75,99
		10-20	1,46	83,31
		20-30	1,45	84,94
	4	0-10	1,31	74,53
		10-20	1,41	80,71
		20-30	1,37	80,25
	5	0-10	1,41	80,23
		10-20	1,47	84,07
		20-30	1,42	83,14
	1	0-10	1,28	75,81
		10-20	1,35	80,40
		20-30	1,22	75,44
	2	0-10	1,41	83,10
		10-20	1,32	78,33
		20-30	1,28	79,36
	3	0-10	1,34	79,26
		10-20	1,29	76,40
		20-30	1,29	79,96
	4	0-10	1,37	81,04
		10-20	1,38	81,94
		20-30	1,24	76,78
	5	0-10	1,29	75,95
		10-20	1,34	79,65

PD	1	20-30	1,37	84,84
		0-10	1,39	85,69
		10-20	1,43	86,04
	2	20-30	1,38	83,60
		0-10	1,26	77,39
		10-20	1,28	76,96
	3	20-30	1,41	85,90
		0-10	1,38	84,95
		10-20	1,35	81,17
	4	20-30	1,26	76,53
		0-10	1,42	87,16
		10-20	1,41	84,96
	5	20-30	1,38	84,02
		0-10	1,26	77,42
		10-20	1,37	82,23
		20-30	1,38	83,75

Valores da densidade do solo (DS) e grau de compactação (GC), na camada de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos para as áreas de Tifton III (T III), Silagem III (S III) e Pastagem (P).

Área	Ponto	Profundidade (cm)	Ds	GC
T III	1	0-10	1,48	86,80
		10-20	1,43	84,05

S III	2	20-30	1,37	80,13
		0-10	1,44	84,44
		10-20	1,43	83,69
	3	20-30	1,46	85,59
		0-10	1,53	89,89
		10-20	1,45	85,05
	4	20-30	1,44	84,46
		0-10	1,30	75,95
		10-20	1,45	85,10
	5	20-30	1,45	85,03
		0-10	1,43	83,87
		10-20	1,33	77,96
	1	20-30	1,52	88,94
		0-10	1,34	84,84
		10-20	1,39	93,68
S III	2	20-30	1,35	96,30
		0-10	1,33	81,51
		10-20	1,39	89,76
	3	20-30	1,26	84,51
		0-10	1,40	80,84
		10-20	1,37	94,62
	4	20-30	1,39	87,90
		0-10	1,28	74,73

P	5	10-20	1,20	87,16
		20-30	1,23	89,13
		0-10	1,24	86,72
		10-20	1,23	89,44
		20-30	1,30	87,16
		0-10	1,48	92,59
	1	10-20	1,55	84,54
		20-30	1,60	81,77
		0-10	1,42	91,89
	2	10-20	1,49	84,24
		20-30	1,40	76,46
		0-10	1,41	97,07
	3	10-20	1,57	83,30
		20-30	1,46	84,52
		0-10	1,30	88,27
	4	10-20	1,45	72,67
		20-30	1,48	74,61
		0-10	1,51	85,68
	5	10-20	1,48	74,33
		20-30	1,45	78,69

Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, para as áreas de Tifton (T I), e Silagem I (S I).

Área	Ponto	Profundidade	Pt	Mic	Mac
------	-------	--------------	----	-----	-----

		(cm)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)
T I	1	0-10	0,50	0,34	0,16
		10-20	0,44	0,35	0,08
		20-30	0,47	0,32	0,14
	2	0-10	0,49	0,33	0,16
		10-20	0,51	0,34	0,16
		20-30	0,49	0,31	0,18
	3	0-10	0,57	0,34	0,23
		10-20	0,44	0,29	0,16
		20-30	0,47	0,32	0,15
	4	0-10	0,62	0,51	0,11
		10-20	0,44	0,34	0,10
		20-30	0,45	0,35	0,10
	5	0-10	0,46	0,39	0,08
		10-20	0,45	0,31	0,14
		20-30	0,47	0,35	0,12
S I	1	0-10	0,58	0,40	0,18
		10-20	0,47	0,32	0,16
		20-30	0,52	0,38	0,15
	2	0-10	0,54	0,42	0,13
		10-20	0,47	0,30	0,17
		20-30	0,54	0,39	0,15
	3	0-10	0,52	0,33	0,19

		10-20	0,51	0,31	0,20
		20-30	0,55	0,35	0,20
	4	0-10	0,47	0,34	0,13
		10-20	0,50	0,31	0,20
		20-30	0,48	0,33	0,15
	5	0-10	0,48	0,31	0,17
		10-20	0,48	0,32	0,17
		20-30	0,52	0,35	0,17

Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, para as áreas de Tífton (T II), Silagem II (SII) e Plantio Direto (PD).

Área	Ponto	Profundidade (cm)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mic (m ³ m ⁻³)	Mac (m ³ m ⁻³)
T II	1	0-10	0,49	0,36	0,13
		10-20	0,50	0,37	0,13
		20-30	0,48	0,39	0,10
	2	0-10	0,54	0,47	0,07
		10-20	0,49	0,37	0,12
		20-30	0,51	0,41	0,10
	3	0-10	0,52	0,31	0,22
		10-20	0,48	0,39	0,09
		20-30	0,48	0,40	0,08
	4	0-10	0,53	0,34	0,19

S II	5	10-20	0,50	0,26	0,23
		20-30	0,51	0,39	0,11
		0-10	0,50	0,33	0,17
		10-20	0,47	0,40	0,07
		20-30	0,49	0,43	0,07
		0-10	0,54	0,39	0,15
	1	10-20	0,52	0,42	0,10
		20-30	0,56	0,40	0,16
		0-10	0,50	0,38	0,12
	2	10-20	0,53	0,41	0,11
		20-30	0,54	0,38	0,16
		0-10	0,52	0,36	0,16
	3	10-20	0,54	0,41	0,13
		20-30	0,54	0,37	0,17
		0-10	0,51	0,39	0,12
	4	10-20	0,51	0,40	0,11
		20-30	0,56	0,44	0,11
		0-10	0,54	0,37	0,17
	5	10-20	0,52	0,37	0,15
		20-30	0,51	0,38	0,13
		0-10	0,50	0,34	0,16
PD	1	10-20	0,49	0,40	0,09
		20-30	0,51	0,39	0,11
		0-10	0,50	0,34	0,16

2	0-10	0,55	0,38	0,17
	10-20	0,54	0,37	0,17
	20-30	0,50	0,41	0,09
3	0-10	0,51	0,32	0,19
	10-20	0,52	0,38	0,14
	20-30	0,55	0,40	0,15
4	0-10	0,49	0,37	0,12
	10-20	0,50	0,43	0,06
	20-30	0,51	0,46	0,04
5	0-10	0,55	0,38	0,17
	10-20	0,51	0,38	0,13
	20-30	0,51	0,37	0,14

Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, para as áreas de Tífton III (T III), Silagem III (S III) e Pastagem (P).

Área	Ponto	Profundidade (cm)	Pt	Mic	Mac
T III	1	0-10	0,47	0,34	0,13
		10-20	0,49	0,44	0,05
		20-30	0,51	0,42	0,09
	2	0-10	0,49	0,37	0,12
		10-20	0,49	0,42	0,08
		20-30	0,48	0,41	0,07

S III	3	0-10	0,45	0,17	0,28
		10-20	0,48	0,42	0,06
		20-30	0,49	0,42	0,07
	4	0-10	0,54	0,45	0,08
		10-20	0,48	0,38	0,10
		20-30	0,48	0,38	0,10
	5	0-10	0,49	0,43	0,06
		10-20	0,53	0,40	0,12
		20-30	0,46	0,42	0,04
	1	0-10	0,47	0,39	0,08
		10-20	0,44	0,42	0,13
		20-30	0,43	0,41	0,12
	2	0-10	0,49	0,43	0,12
		10-20	0,47	0,38	0,08
		20-30	0,50	0,38	0,12
	3	0-10	0,50	0,29	0,20
		10-20	0,44	0,30	0,14
		20-30	0,48	0,37	0,11
	4	0-10	0,53	0,38	0,15
		10-20	0,48	0,38	0,10
		20-30	0,47	0,36	0,11
	5	0-10	0,46	0,35	0,11
		10-20	0,47	0,35	0,12

P	1	20-30	0,48	0,38	0,11
		0-10	0,52	0,40	0,12
		10-20	0,50	0,45	0,05
	2	20-30	0,52	0,48	0,04
		0-10	0,53	0,40	0,13
		10-20	0,50	0,40	0,10
	3	20-30	0,55	0,38	0,17
		0-10	0,50	0,30	0,20
		10-20	0,51	0,40	0,11
	4	20-30	0,50	0,42	0,08
		0-10	0,54	0,43	0,11
		10-20	0,57	0,36	0,21
	5	20-30	0,56	0,39	0,17
		0-10	0,56	0,38	0,17
		10-20	0,56	0,34	0,23
		20-30	0,54	0,37	0,16

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L., REICHERT J.M., REINERT D.J. Mechanical and biological chiseling to reduce compaction of a sandy loam alfisol under no-tillage. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:273-277, 1986.
- ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura-pecuária**. Embrapa Milho e Sorgo, 2005.
- ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, C.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. **A cultura do milho na integração lavoura pecuária**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 12 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 80).
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Tópicos em Ciência do Solo. In: Araújo, A. P.; Avelar, B. J. R., (Eds.) **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtrópico brasileiro...** 8. ed. Viçosa: UFV, 2013. cap. 8, p. 221-278.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.
- AZAMBUJA, J. M. V. **O solo e o clima na produtividade agrícola**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 164 p.
- BELTRAME, L.F.C. et al., Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BENGHOUGH, A.G. et al. Mechanical impedance to root growth: a review of

experimental techniques and root growth responses. J. Soil Sci., Oxford, v.41, p.341-358, 1990.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681- 691, 2010.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**.8.ed. São Paulo, Ícone, 2012. 355p.

BOONE, F.R.; van der WERF, H.M.G.; KROESBERGEN, B.; HAAG, B.A. & BOERS, A. The effect of compactation of the arable layer in sandy soils on the growth of maize of silage. II. Soil conditions and growth. Nether. **J. Agr. Sci.**, 35:113-128, 1987.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. 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**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, p. 269-279, 1995

BUSSCHER, W.J. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Tillage Res., Amsterdam, v.43, p.205-217, 1997.

CASSIA, M. T.; CARVALHO FILHO, A.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; BONTEMPO, A. R.; FERREIRA, R. C.; FERREIRA JÚNIOR, J. A. Determinação da resistência do solo à penetração em função do manejo de pastagens. In: Seminário de Iniciação Científica do CEFET-Uberaba, 2008, Uberaba-MG. **1º Seminário de Iniciação Científica do CEFET-Uberaba**. Uberaba-MG: CEFETUBERABA, 2008.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

CAVALLINI, M. C. **Correlação entre a produtividade e teor de proteína bruta do capim Marandu com atributos físicos e químicos de um Latossolo do Cerrado Brasileiro**. Ilha Solteira, 2009. 118f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1301-1309, 2011.

CORDEIRO, L. A. M.; REIS, M. S.; AGNES, E. L.; CECON, P.R. Efeito do plantio direto no controle de tiririca (*Cyperus rotundus L.*) e outras plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo – RS, n.º 1, p. 1 - 9, 2006.

COSTA, F. D. 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. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16670.pdf>

DALLA ROSA, A. **Uso, manejo e conservação do solo: um grito de alerta**. Santo Ângelo: Cotrisa, 1981. 32p.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DE KIMPE, C. R., & WARKENTIN, B. P. (1998). Soil functions and the future of natural resources. In: *Towards sustainable land use. Furthering cooperation between people and institutions. Volume 1. Proceedings of the International Soil Conservation Organization, Bonn, Germany, 26-30 August 1996*. (No. 31, p. 3-10).

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120:201-214, 2004.

DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. *Plant Soil*, 98:303- 312, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FLORES, J.P.C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário em superfície**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 74p. (Tese de Mestrado).

FLORES, J.P.C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.771-780, 2007.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. & LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:947-953, 2003.

FONTANELI, R. S., FONTANELI, R. S., SANTOS, H. D., NASCIMENTO JUNIOR, A., MINELLA, E., & CAIERÃO, E. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2116-2120, 2009.

FREDDI, O. da S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.953-961, 2008.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 264p

JESUS, C. P. de. Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto. Dissertação. Lages, 2006. 47 p. Mestrado (Ciência do solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, 2006.

KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado).

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

KLEIN, V. A. & LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Dez 2002, vol.26, no.4, p.857-867. ISSN 0100-0683

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO T.; ELTZ, F.L.F., AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:415-423, 2004.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D.G. dos; SÁ, M.A.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARCHÃO, R.L. **Integração lavoura-pecuária num latossolo do cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MELLO, L.M.M.; YANO, E.H.; NARIMATSU, K.C.P.; TAKAHASHI, C.M.; BORGHI, É. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de Forragem e resíduo de palha após pastejo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.1, p.121-129, 2004.

MORAES, A.de et al. Avanços científicos em integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Synergismusscientifica**. UTFPR, v.6, n.2, p.1-9, 2011.

NICOLOSO, R. da S.; LANZANOVA, M. E. and LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. 2006, vol.36, n.6, pp. 1799-1805.

PAULINO, P. V. R., PORTO, M. O., OLIVEIRA, A., SALES, M. F. L., & MORAES, K. Integração Lavoura-Pecuária: utilização do pasto e subprodutos. In: SIMPÓSIO DE

PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 5., 2006, Viçosa, MG. **Anais...**Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.157-220.Diponível em:<http://www.simcorte.com/index/Palestras/5_simcorte/simcorte4.PDF>.

PEREIRA, J. G. **Resistencia mecânica do solo à penetração e rendimento do milho em sistema de integração milho-bovinos de corte.** Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná. Dois vizinhos, 2014. 71f. (Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia)

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo.** Santa Maria, UFSM, 2006. 18 p.

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

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 In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.v.5. p.49-134.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **SoilTillageResearch**, 102:242-254, 2009.

RICHARDS, L.A. **Physical conditions of water in soil.** In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1.Madison, American Society for Testing and Materials, 1965.770p.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; HEINZMANN, F. Influência da adubação verde de inverno e seu efeito residual sobre o rendimento nas culturas de verão, em Latossolo Roxo distrófico. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.2, n.9, p.4-5, 1984.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:191-199, 2000

SILVA, S. G. C., *et al.* Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2012, vol. 36, n. 2, p. 547-555.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. and TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2004, vol.28, n.3, pp. 533-542.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 725-730, 2001.

TORMENA, C. A. Atributos físicos e qualidade física do solo que afetam a produtividade da cultura do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10, 2009, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde, GO: FESURV, 2009. p. 75-88.

TREIN, C.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:105-111, 1991.

VEIGA, M. da; BALBINOT JUNIOR, A. A.; PANDOLFO, C. M. Manejo da pastagem anual de inverno afetando a emergência de plantas daninhas na cultura do milho em sucessão. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 9., 2013, Campos Novos. **Resumosexpandidos...** Campos Novos: UNOESC, 2013. 5 p. 1 CD-ROM.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from Southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **SoilTillageResearch**, 92:104-113, 2007.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; BARIONI, L.G.; BARCELLOS, A. de O. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. de (Ed.). **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p.933-962.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.763-774, 2004.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.

WOORHEES, W.B. & LINDSTORM, M.J. Soil compaction constraints on conservation tillage in the Northern Corn Belt. **J. Soil Water Conserv.**, 38:307-311, 1983.