



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

**VENESA PINTO DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LAVOURAS DE  
ALFAFA NO DISTRITO DE RINCÃO DE SÃO PEDRO, SÃO LUIZ GONZAGA/RS.**

**CERRO LARGO – RS**  
**2015**

**VENESA PINTO DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LAVOURAS DE ALFAFA NO DISTRITO DE RINCÃO DE SÃO PEDRO, SÃO LUIZ GONZAGA/RS.**

Projeto 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.

Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO - RS

2015

**VENESA PINTO DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM LAVOURAS DE ALFAFA  
NO DISTRITO DE RINCÃO DE SÃO PEDRO, SÃO LUIZ GONZAGA/RS.**

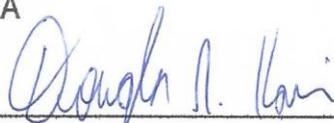
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

**Orientador:** Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

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

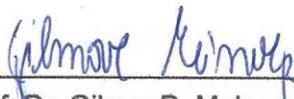
26/11/2015

**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**

Santos, Venesa Pinto dos  
DIAGNÓSTICO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LAVOURAS  
DE ALFAFA NO DISTRITO DE RINCÃO DE SÃO PEDRO, SÃO LUIZ  
GONZAGA/RS./ Venesa Pinto dos Santos. -- 2015.  
57 f.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2015.

1. Densidade do solo . 2. Grau de compactação do  
solo. 3. Porosidade do solo. 4. Análise do Perfil  
Cultural. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Margarida Pinto dos Santos e Homero Prestes dos Santos, pelo apoio, incentivo, pela força, por não me deixar desistir nunca, pelo amor e dedicação, por tudo o que tenho hoje.

À minha irmã e colega, Andressa, pela convivência durante o período do curso, pelos bons e maus momentos vividos, pela ajuda, pela amizade e apoio na vida e nos estudos.

Ao Mauricio Kasper, sempre um fiel companheiro de todas as horas, o qual sempre pude contar, pelo apoio, pela ajuda, pelo trabalho, por todos os momentos bons, por todas as dificuldades, por tudo.

Ao meu orientador, Douglas Rodrigo Kaiser, pela atenção e dedicação tanto na parte prática como no acompanhamento teórico do TCC, oportunizando vivenciar mais as atividades na área de ciências do solo reforçando o interesse no aprofundamento do conhecimento dessas.

Ao professor Benedito Silva Neto que durante o curso de agronomia, orientou-me em projeto de pesquisa.

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

A todos os agricultores que participaram do diagnóstico, em especial ao senhor Vitorio Haito, Celestino Stragliotto e Aquilino Matos que disponibilizaram suas propriedades para coleta.

Ao aluno Anderson Stolben Machado, pela ajuda na execução dos trabalhos, pelo empenho e dedicação nas tarefas, e pela oportunidade de convivência.

A todos os meus amigos, colegas e professores do curso de Agronomia da UFFS por todos os momentos e amizades desenvolvidas, pela atenção e dedicação prestadas.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram e acreditaram nos meus estudos.

## RESUMO

VENESA PINTO DOS SANTOS. **Diagnóstico dos atributos físicos do solo em lavouras de alfafa no distrito de Rincão de São Pedro, São Luiz Gonzaga/RS.**

A alfafa é considerada a primeira planta forrageira domesticada, sendo uma das mais importantes em termos mundiais na atualidade. A expansão do uso de maquinários nas diversas etapas de produção da cultura, condiciona ao solo uma maior pressão, quando aplicado em condições inadequadas de umidade, repercutindo em mudanças nas condições físicas. O presente trabalho teve por objetivo fazer um diagnóstico das condições físicas do solo em lavouras de alfafa com diferentes tempos de implantação e níveis de mecanização. O estudo foi realizado na comunidade de Rincão de São Pedro distrito de São Luiz Gonzaga/RS. As amostras foram coletadas, em três propriedades conforme o nível de mecanização diagnosticado, (mecanização completa, mecanização incompleta para a coleta (i) e mecanização incompleta para o revolvimento e enleiramento (ii)). Foram realizadas amostragens nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, para cada gleba identificada. As propriedades físicas do solo avaliadas no diagnóstico foram: textura, densidade do solo (DS), grau de compactação (GC), porosidade total (PT), microporosidade (Mip) e a macroporosidade (Mac). Também foram procedidas a campo avaliação da condição estrutural do solo método do Perfil Cultural. Com os diferentes níveis de mecanização, observou-se que os valores críticos para macroporosidade e densidade bem como o grau de compactação do solo variam muito entre os níveis assim como entre a quantidade de anos que o solo é manejado, sendo que os valores, apresentados principalmente para propriedade com mecanização incompleta, ficaram bem abaixo do valor mínimo para todos os indicadores de compactação. Avaliação dos solos pelo método do Perfil Cultural detectou camadas de compactação em maior ou menor grau em todas as glebas para todos os níveis de mecanização sendo que as características estruturais de um solo compactado foram mais evidentes principalmente nas propriedades com mecanização completa e incompleta. Os resultados obtidos para todos os parâmetros avaliados descrevem problema nas propriedades físicas do solo sob cultivo da alfafa, caracterizados principalmente sobre a forma de solos altamente compactados, o que pode influenciar diretamente da produtividade e longevidade da cultura na lavoura.

**Palavras-chave:** *Medicago sativa* L. Mecanização. Compactação.

## Abstract

VENESA PINTO DOS SANTOS. **Diagnosis of soil physical properties in alfalfa crops in Rincão de São Pedro district of, São Luiz Gonzaga / RS.**

Alfalfa is considered the first domesticated forage plant being one of the most important globally today expanding the use of machinery in various stages of production of culture, conditions on the ground more pressure when applied in inadequate moisture conditions, reflecting in changes in physical conditions. This study aimed to diagnose the physical conditions of the soil in alfalfa crops at different times of deployment and mechanization levels, the study was conducted in Corner community of Rincão de São Pedro district of São Luiz Gonzaga / RS. The samples were collected in three properties as the level of mechanization diagnosed, (complete mechanization, mechanization incomplete for collection (i) and incomplete mechanization for plowing and raking (ii). Samples were taken at 0-10, 10-20 and 20-30 cm for each identified gleba The soil physical properties evaluated in the diagnosis were: texture, bulk density (DS), degree of compaction (GC), total porosity (TP), microporosity (Mip) and macroporosity (Mac) .Also field have been made to evaluate the structural condition of the soil profile Cultural method. With the different levels of mechanization, it was observed that the critical values for macroporosity and density as well as the degree of soil compaction vary levels greatly among and between the number of years the soil is handled, and the values presented primarily for ownership with incomplete mechanization, were well below the minimum value for all compression indicators. Soil Evaluation by profile Cultural method detected compaction layers greater or lesser degree in all plots for all levels of mechanization being the structural characteristics of a compacted soil was more evident especially in properties with complete and incomplete mechanization. The results for all parameters describe problem in the physical properties of the soil under cultivation of alfalfa, characterized mainly on the form of highly compacted soils, which can directly influence the productivity and culture of longevity in the field

**Keywords:** *Medicago sativa* L. Mechanization. Compression.

## SUMÁRIO DE FIGURA

Figura 1. Perfil Cultural do solo dos pontos um, três e cinco da gleba de 1 anos, para propriedade com nível completo de mecanização para alfafa. ....	47
Figura 2. Perfil Cultural do solo dos pontos um, dois e quatro da gleba de 2 anos, para propriedade com nível completo de mecanização para alfafa.....	47
Figura 3. Perfil Cultural do solo dos pontos um, quatro e cinco (respectivamente) da gleba de 6 anos, para a propriedade com nível completo de mecanização para a alfafa. ....	48
Figura 4. Perfil Cultural do solo dos pontos um, dois e cinco (respectivamente) da gleba de 7 anos, para a propriedade com nível completo de mecanização para a alfafa.....	49
Figura 5. Perfil Cultural do solo dos pontos um, três e quatro (respectivamente) da gleba de 2 anos, para propriedade com nível de mecanização incompleto para coleta da alfafa. ....	50
Figura 6. Perfil Cultural do solo dos pontos um, três e quatro ( respectivamente) da gleba de 4 anos, para propriedade com nível de mecanização incompleto para coleta da alfafa.....	51
Figura 7. Perfil Cultural do solo dos pontos, dois, três e cinco (respectivamente) da gleba de 3 anos, da propriedade com nível incompleto para revolvimento e enleiramento da alfafa. .	51

## SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1. Modos de organização do perfil do solo.....	28
Tabela 2. Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.....	29
Tabela 3. Teor de argila, areia e silte e classe textural das glebas dos distintos níveis de mecanização.....	29
Tabela 4. Teor de argila e matéria orgânica (MO) e densidade do solo máxima (DS <sub>máx</sub> ).....	30
Tabela 5. 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 a propriedade com nível completo de mecanização, para as glebas de 1 e 2 anos.....	32
Tabela 6. 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 a propriedade com nível completo de mecanização, para as glebas de 6 e 7 anos. ....	33
Tabela 7. 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 a propriedade com nível de mecanização incompleto para a coleta, para gleba de 2 anos. ....	34
Tabela 8. 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 na propriedade com nível de mecanização incompleto para a coleta da alfafa, para a gleba de 4 anos. ....	34
Tabela 9. 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 na propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento. ....	35
Tabela 10. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 1 ano.....	40
Tabela 11. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 2 anos.....	40
Tabela 12. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 6 anos.....	41
Tabela 13. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível de mecanização completa para cultura da alfafa para gleba de 7 anos.....	41
Tabela 14. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível incompleto de mecanização para a coleta de alfafa. ....	43
Tabela 15. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento da alfafa.....	45

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA .....	11
1.2PROBLEMA .....	11
1.3 HIPÓTESE .....	11
1.4 OBJETIVOS.....	11
1.4.1 Objetivo geral .....	11
1.4.2Objetivos específicos .....	12
1.5 JUSTIFICATIVA.....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DA ALFAFA ( <i>Medicago sativa</i> ) E IMPORTÂNCIA DA FORRAGEIRA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	13
2.2 O SOLO NA PRODUÇÃO DE ALFAFA .....	14
2. 3 INTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO PELA COMPACTAÇÃO .....	15
2.4 MÉTODO DO PERFIL CULTURAL .....	17
2.5 DENSIDADE DO SOLO.....	18
2.6 POROSIDADES DO SOLO.....	19
<b>3.MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 SELEÇÕES DOS LOCAIS DE COLETA .....	21
3.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS .....	25
3.3 VARIÁVEIS ANALISADAS E MÉTODOS ANALÍTICOS .....	26
3.4 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	28
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1 DENSIDADE DO SOLO E GRAU DE COMPACTAÇÃO .....	29
4.2 POROSIDADES DO SOLO.....	39
4.3 ANÁLISES DO PERFIL CULTURAL.....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>

## 1.INTRODUÇÃO

A alfafa (*Medicago sativa L.*) é considerada a primeira planta forrageira domesticada, sendo uma das mais importantes em termos mundiais na atualidade (MARQUES et al. 2010). Segundo o mesmo autor, no Brasil as dificuldades para a ampliação do cultivo passam por aspectos que vão do próprio desconhecimento da cultura a fatores como fertilidade do solo, irrigação, produção de sementes, bem como manejos e tratos culturais. Sendo destacado pela Embrapa Pecuária Sudeste (2003) o solo como o fator de interferência mais importante a adaptabilidade da cultura as condições brasileiras.

No estado do Rio Grande do Sul na região das Missões o cultivo da leguminosa destaca-se por possuir a maior concentração de área plantada do estado, com cerca de 3 mil hectares. O município de Rolador apresenta a maior área cultivada, seguido de Dezesseis de Novembro e São Luiz Gonzaga (MITTELMANN, 2008). Segundo a Emater (2015) somente o município de São Luiz Gonzaga possui uma área total estimada em 560 hectares. Na região, o cultivo da alfafa é historicamente marcado por quatro condições: a) ser uma cultura desenvolvida em pequenas propriedades b); preparo convencional do solo; c) emprego intensivo de mão-de-obra em especial no período de corte e revolvimento e enleiramento d) uso quase que exclusivo de cultivares crioulas. Em função de processos de diferenciação que condiciona os sistemas agrícolas, o fenômeno que vem sendo observado é o aumento contínuo no nível de mecanização da atividade em maior ou menor escala conforme as condições de capitalização dos produtores, refletindo em uma menor dependência de mão-de-obra e otimização dos processos produtivos. Entretanto, a expansão do uso de maquinários nas diversas etapas de produção da cultura, condiciona ao solo uma maior pressão, quando aplicado em condições inadequadas de umidade e manejo do solo repercutindo em mudanças graves nas condições físicas deste, isso aliado a uma necessária demanda no controle de invasoras por capinas mecânicas pode contribuir no desgaste produtivo do sistema.

Nos sistemas de produção agrícola um dos maiores agentes de transformação das propriedades do solo, são as operações e manejos que envolvam mobilização e tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade de solo, pois essas têm como resposta a alteração substancial da estrutura do solo (REICHERT et al, 2003). Conforme o mesmo autor, essa modificação imposta pelas alterações no ambiente edáfico, tem reflexos diretos sobre o crescimento e

desenvolvimento radicular de diversas culturas, além de ocasionar muitas vezes em deterioração dos atributos do solo, em especial, a compactação e a agregação do mesmo.

A qualidade física do solo é um dos principais fatores que condicionam o pleno desenvolvimento das culturas agrícolas. Desta forma, possíveis alterações dessas propriedades refletem a médio e longo prazo uma redução da capacidade do solo de sustentar o crescimento vegetal refletindo em uma menor produção das culturas (REICHERT et al., 2003). Assim sendo, a análise dos atributos físicos do solo é aplicada de modo a monitorar a qualidade do mesmo, consistindo assim uma importante base para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (DORAN & PARKIN, 1994).

### 1.1 TEMA

Avaliação dos atributos físicos do solo em lavouras cultivadas com alfafa em Rincão de São Pedro/ São Luiz Gonzaga.

### 1.2 PROBLEMA

Baixo conhecimento sobre as propriedades físicas em lavouras cultivadas com alfafa em Latossolos, bem como a redução da longevidade média observadas nas propriedades produtoras.

### 1.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que diferentes graus de mecanização para a cultura da alfafa, ocasionam alterações nos atributos do solo e afetam a longevidade da cultura.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve por objetivo realizar um diagnóstico sobre o efeito de diferentes níveis de mecanização na alteração dos atributos físicos do solo em lavouras cultivadas com alfafa em propriedades na comunidade de Rincão de São Pedro, distrito de São Luiz Gonzaga.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Verificar quais são as propriedades físicas mais afetadas nas lavouras de alfafa, para diferentes solos impostos pelo tráfego.
- Conferir a existência de diferenças nos atributos físicos, entre os diferentes graus de mecanização.

### **1.5 JUSTIFICATIVA**

Em virtude de a alfafa ser uma cultura de suma importância para muitos pequenos produtores da região Missões, o trabalho se justifica devido ao diagnóstico fazer um retrato real das condições das principais propriedades físicas dos solos alterada pelo manejo da cultura, avaliando situações típicas de mecanização encontradas no cultivo da alfafa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DA ALFAFA (*Medicago sativa*) E IMPORTÂNCIA DA FORRAGEIRA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

A alfafa é uma leguminosa semi-perene, de origem asiática (MARQUES, 2010). Sua alta adaptabilidade a distintos tipos de climas e solos tornou-a popular, sendo cultivada em todas as regiões agrícolas do mundo, ganhando o título de "rainha das forrageiras" pelos norte-americanos, visto seu elevado valor nutritivo, bem como a excelente qualidade organoléptica da forragem, com cerca de duas a quatro vezes mais proteína bruta do que o trevo-branco (*Trifolium repens*) e a silagem de milho (*Zea mays*) (Embrapa Pecuária Sudoeste, 2003).

Os dados fornecidos pela Embrapa (2003), destaca presença marcante na cultura nas regiões temperadas do mundo relatando da seguinte forma as dimensões alcançadas pela forrageira:

[...] esta cobre área estimada em mais de 32 milhões de hectares (ha), distribuída da seguinte maneira: no hemisfério Norte, Estados Unidos com 10.500.000 ha e a maior produção mundial, seguidos pela ex-União Soviética, com 3.300.000 ha, pelo Canadá, com 2.500.000 ha, e pela Itália, com 1.300.000 ha. No hemisfério Sul, o maior produtor e o segundo em nível mundial é a Argentina, com 7.500.000 ha, seguida pela África do Sul, com 300.000 ha, e pelo Peru, com 120.000 ha (EMBRAPA PECUÁRIA SUDOESTE, 2003).

No Brasil, a área cultivada corresponde apenas 26.000 hectares (EMBRAPA, 2003). Os primeiros registros de cultivo de alfafa no país são datados do ano de 1850, quando esta foi inserida no estado do Rio Grande do Sul pelas mãos de imigrantes vindos diretamente da Europa ou através da Argentina e Uruguai (MITTELMANN, 2008). Segundo Oliveira et al. (2008) o estado gaúcho chegou a possuir cerca de 20 mil hectares da cultura, atualmente essa área abrange um total de 70% do que é cultivado de alfafa no país (EMBRAPA, 2003). Dentro do Rio Grande do Sul, ainda pode-se apontar a Mesorregião das Missões a principal produtora de alfafa no Estado. Ainda assim, a cultura está presente em 19% dos municípios do Estado (MITTELMANN, 2008).

No que tange ao destino da produção oriunda da região produtora das missões, esta é transformada em feno e destinada à comercialização para outras regiões do estado, especialmente Fronteira Oeste e Região Metropolitana de Porto

Alegre, bem como para outros estados, entre eles Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul (MITTELMANN et al., 2008).

## 2.2 O SOLO NA PRODUÇÃO DE ALFAFA

Os solos ideais para a cultura da alfafa são aqueles que apresentam textura média (areno-argiloso), boa profundidade, sem camada de impedimento, apresentem boa capacidade de infiltração de água ao mesmo tempo sejam bem drenado, preferencialmente com lençol freático situado a mais de 2 metros de profundidade devido ao vasto sistema radicular da planta, e de preferência ser fértil e ter pH neutro (EMBRAPA, 2003).

A implantação da cultura é o momento que demanda maior dedicação e cuidados por parte dos produtores, em virtude da alfafa ser uma planta semi-perene, com potencial produtivo de até oito anos, devendo ser conduzido o seu estabelecimento com base em uma série de precauções e medidas para sua exploração sustentável e rentável (EMBRAPA, 2008). Os processos iniciais de implantação da cultura são marcados por uma grande mobilização do solo, (EMBRAPA, 2003), partindo de operações agrícolas de preparo do solo com aração profunda, que devido a fatores como histórico de uso leva ao desenvolvimento de camadas compactadas.

No preparo inicial do solo é fundamental o rompimento das camadas compactadas bem como a necessidade da incorporação de calcário, para correção do pH em profundidade. Klein (2012) acrescenta que o preparo do solo também proporciona aeração, aumenta a capacidade de infiltração e armazenagem de água.

Em relação à sementeira, esta pode ser realizada tanto em lanço como em linha, no entanto a Embrapa (2003), recomenda que a mesma seja preferencialmente realizada a lanço, pois proporciona uma maior distribuição de plantas na área. Os tratamentos culturais que precedem a sementeira possuem diferentes graus de mobilização no solo, sendo que toda alteração dos componentes físicos do solo é oriunda de uma série de ações como: condição de umidade do solo, tamanho do rodado e peso do maquinário, bem como atividade exercida sobre esse.

No Brasil, a mecanização agrícola vem se tornando cada vez mais presente nas propriedades rurais, otimizado o tempo demandado para atividade e diminuindo a dependência do uso de mão de obra, tão marcante nesse sistema de produção

(TEIXEIRA,2005). Atualmente todas as etapas do processo produtivo de alfafa para produção de feno são contemplados por implementos próprios e especializados, que vão do corte com o uso de segadeiras, passando pelo uso de ancinhos enleiradores a coletores de fenos, todos estes dependentes de tração motorizada.

Entretanto, o aumento do nível da mecanização, condiciona ao solo uma série de alterações em suas propriedades físicas, o que vem a refletir na sustentabilidade do sistema, contudo, informações sobre os possíveis impactos sobre o aumento do uso de maquinários na cultura são escasso na literatura brasileira. Em países como os Estados Unidos, onde o nível de mecanização empregado na cultura é bastante amplo, o efeito do tráfego de maquinário vem sendo largamente estudado devido aos danos causados ao solo pela compactação. Em uma pesquisa nos estados americanos de Wisconsin e Iowa, foram registradas perdas de rendimento anual de alfafa de até 37% devido ao tráfego nas áreas da cultura (DUIKER, 2013). No entanto, o mesmo autor relata que outras pesquisas apontam para perdas de rendimento da cultura entre 1 a 34%, sendo os danos aos estandes de alfafa muito maiores 5 dias após o corte do que em relação a 2 dias após o corte, mostrando a importância da pontualidade na remoção do feno do campo.

### 2. 3 INTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO PELA COMPACTAÇÃO

O solo é compreendido como um ambiente trifásico (sólido, líquido e gasoso), existindo originalmente um estado de equilíbrio, com uma biota ativa, o sistema radicular das plantas extraem nutrientes da matéria orgânica e dos minerais do solo para o seu desenvolvimento e o ar e a água movimentam-se sem maiores dificuldade (LANZANOVA, 2005).

Nos sistemas agrícolas existe uma série de práticas que levam ao desequilíbrio desse ambiente, atividades essas que são realizados, para atender as exigências edáficas das culturas. Como resultado disso temos a compactação do solo, que é desenvolvida devido ao processo contínuo de distúrbios no solo, o que acaba repercutindo nas relações entre os fatores ambientais do solo (ar, água e temperatura) os quais influenciam praticamente, todas as fases de seu desenvolvimento vegetal (CAMARGO & ALLEONI, 2006).As características do solo que podem ser, afetadas pelo manejo, tais como: matéria orgânica, estrutura, teor de água e densidade do solo (STRECK et al, 2004)

Como relatado anteriormente e reforçado por Reichert et al, (2003) a compactação é fruto de um histórico de pressões recebidas em uma área, através da mecanização ou pelo próprio pisoteio animal. Camargo & Alleoni (2006) chama atenção sobre o assunto devido à complexidade, referente a essa descrição do conceito de compactação, por este estar inter-relacionado a condições físicas, químicas e biológicas do solo e cujo efeito sinérgico no meio, agrava todo o complexo solo- planta com reflexos diretos na produção.

É recorrente na literatura a constatação como a principal causa da compactação dos solos agrícolas, o tráfego de máquinas, sendo esse evidenciado de modo mais intensivo nos solos argiloso. De forma marcante teve sua intensificação com a modernização dos sistemas agrários e seus pacotes tecnológicos (REICHART et al, 2005). Reichert et al, (2003) discorre sobre uma das principais formas observadas que é a compactação superficial, sendo essa resultante, fundamentalmente, da pressão de inflação de ar dos pneus e a compactação sub superficial pelo peso por eixo.

Para Klein (2012) no caso de veículos leves a máxima compactação ocorre de forma superficial (0,0-0,3 m), ao passo que equipamentos pesados tendem a compactar o solo em camadas mais profundas, de 0,3 a 0,6 m. Camargo & Alleoni, (2006) acrescentam que o efeito é agravado quando esses são efetuados em determinadas condições de umidade, o que segundo o mesmo autor acarreta em alterações no arranjo das partículas do solo, diminuindo, na maioria das vezes, o volume ocupado por determinada massa de solo e o tamanho dos poros do solo que permitem livre circulação de ar e água, denominados, macroporos.

Sobre os distúrbios causados pela compactação sobre os atributos físicos do solo, Reichert et al. (2003) pondera do seguinte modo:

Com a compactação há um aumento da densidade e da resistência do solo, redução da porosidade, principalmente macroporosidade ou porosidade de aeração (poros maiores que 50 mm), além de afetar diversos de seus atributos como a condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração de água e outras características ligadas à porosidade do solo. Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais.

Os tratos culturais agem na estrutura do solo modificando a densidade e em consequência a porosidade, a distribuição do tamanho dos poros e a resistência a penetração (KLEIN, 2012). Assim sendo, operações realizadas em condições não

ideais de solo geram um aumento da pulverização do solo e uma deterioração da estrutura do solo (DUIKER, 2013).

#### 2.4 MÉTODO DO PERFIL CULTURAL

O método de avaliação do Perfil Cultural tem suas origens na França na década de 60, sendo somente introduzido no Brasil na década de 90 (PEREIRA NETO, et al., 2007).

O Perfil Cultural é método qualitativo que viabiliza a realização de um diagnóstico do estado estrutural do solo no campo, sendo considerada para isso a heterogeneidade do meio físico trabalhado onde se busca avaliar alguns efeitos específicos, como o mecanismo de compactação, os impactos de implementos no solo, entre outros (TAVARES FILHO et al., 1999).

Manichon e Gautronneau (1996) afirmam que tal método, consiste no “conjunto dos horizontes do solo individualizados pela intervenção de implementos agrícolas e comportamento das raízes das plantas do local e pela influência dos fatores naturais (clima)”. Os mesmos autores juntamente com D.Batista & Andriujo, Pecorari (1993), colocam o método utilizado como sendo uma forma de observar à localização de horizontes onde se encontram maior resistência a penetração de raízes camadas compactado, bem como analisar densidade e profundidade de raízes de cultivos anteriores e verificar a presença de fissuras e atividade biológica (galeria de vermes ou poros tubulares).

Desta forma, o método do Perfil Cultural permite destacar diferentes unidades morfológicas no perfil conforme o manejo adotado (PEREIRA NETO, et al.,2007), para isso se faz necessário a abertura de trincheiras (MANICHON, GAUTRONNEAU; 1996). Ainda conforme os mesmos autores são possíveis verificar no sentido vertical características como: mudanças bruscas de cor, textura, de modo a delimitar e distinguir as camadas de solo ("horizontes") conforme aspectos estruturais, além de permitir caracterizar a variabilidade de consequências estruturais em enraizamento e do estado de oxidação da terra, além disso, dentro de um determinado horizonte a variabilidade do estado estrutural pode ser caracterizada suas consequências em torcer e oxidação do estado do solo.

A respeito da utilização do Perfil Cultural, as trincheiras podem ser abertas em dois sentidos:

[...] perpendicularmente como longitudinalmente ao sentido de trabalho do solo pelos implementos, segundo o objetivo da avaliação, com vistas a detectar as modificações estruturais provocadas no solo. A terra deve ser retirada de forma que se preservem totalmente a superfície e as laterais dos perfis a serem avaliados. O método é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antropizados distintos, tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregados e torrões, dentre outros fatores (TAVARES et al.; 1999).

## 2.5 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo ( $D_s$ ) é um parâmetro que serve como índice de compactação, sendo muito utilizada em avaliações do estado estrutural dos solos (SCAPINIET et al.,1998, apud LANZANOVA, 2005). A  $D_s$ , conforme Klein (2008) representa a relação entre a massa de solo seco e seu volume, sendo, portanto afetada por modificações na estrutura e no arranjo e volume dos poros. No entanto seu efeito não afeta diretamente o desenvolvimento das culturas, pois a sua ação está intrinsecamente relacionada à aeração, temperatura, retenção de água e resistência mecânica a penetração, que por sua vez exercem influência direta sobre o crescimento de plantas (LETEY, 1985; FORSYTHE, 1967 apud MICHELON et al.,2009).Reichert et al. (2007) colocam que entre os atributos utilizadas para avaliar a compactação considera-se a densidade como mais segura, pois exibe menor ou nenhuma dependência de outros fatores. Os mesmo autores colocam que os valores críticos de densidade são obtidos de acordo com classe textural do solo que esse pertence. Na outra ponta a avaliação do grau de compactação elimina o efeito da granulometria do solo relacionando apenas a densidade atual do solo com a densidade referência ou densidade do solo máxima (REICHERT, et al. 2007).Preenchendo uma necessidade de análises mais simplificadas do estado de compactação do solo, podendo ser aplicado no uso de experimento de campo capacitando a formação de ligação entre estudos de resposta do solo ao tráfego de máquinas e estudos de resposta das culturas a compactação (SUZUKI, 2004).

As causas que levam a alteração na densidade dos solos podem estar ligadas a própria natureza deste (teor de matéria orgânica, textura etc.), ou a ações antrópicas (SILVA et al. 2011), sendo o manejo das culturas através do emprego de máquinas agrícolas e implementos sobre o solo, uma das principais formas de aumento da densidade em solos agrícolas (KLEIN, 2012).

Segundo Klein (2012) a densidade dos solos agrícolas varia de 0,9 a 1,8 g cm<sup>-3</sup>, em função da textura e teor da matéria orgânica do solo. Desta forma, Reinert & Reichert (1999) apud Reichert (2003) estabelecem que os valores críticos de densidade do solo para solos argilosos (mais de 55 % de argila) é 1,40 Mg m<sup>-3</sup> ; enquanto para solos de textura média (argila entre 20 e 55 %) o valor é de 1,55 Mg m<sup>-3</sup> e para solos de textura arenosa (menos de 20 % de argila) o valor seria de 1,65 Mg m<sup>-3</sup>. Marcolin e Klein (2011) acrescentam que aumentos nos teores de matéria orgânica resultam na redução da densidade do solo, em decorrência do material orgânico possuir densidade menor quando comparado aos sólidos minerais ou em função do efeito sobre a estabilidade estrutural do solo.

É importante ressaltar que solos de mesma composição e textura, podem apesar disto apresentar grande diferenciação de densidade; como no exemplo, citado por Klein (1998), onde solos argilosos em condições naturais apresentam densidade de 0,92 g cm<sup>-3</sup>, enquanto que em condições de intenso cultivo, os mesmos apresentam densidade acima de 1,3 g cm<sup>-3</sup>, indicando um alto grau de compactação para esses solos (REINERT & REICHERT, 1999).

## 2.6 POROSIDADE DO SOLO

No estudo dos atributos físicos do solo, um dos fatores de maior importância é a porosidade. A mesma representa a fração volumétrica do solo ocupada com ar e água, caracterizando o local onde circula a solução (água e nutrientes) e o ar (KLEIN, 2012). Conforme o mesmo autor, modificações nas características físicas do solo acarretadas pela compactação em regiões úmidas, levam a redução da porosidade, e conseqüentemente redução da aeração. Concordando com Reichert (2007) que acrescenta que comumente a redução da porosidade incide nos poros maiores (macroporos), responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo, sendo esses os poros maiores que 50 µm e são os primeiros a serem destruídos no processo de compactação. O efeito negativo dessa redução sobre o desenvolvimento das plantas ocorre por deficiência na difusão de gases junto ao sistema radicular das plantas (STEPNIEWSKI et al., 1994 apud KLEIN, 2012). A maioria das raízes das plantas precisa de mais do que 10% da porosidade de aeração para o pleno desenvolvimento do sistema radicular da planta.

No estudo da porosidade do solo é considerado o tamanho, a proporção e a continuidade dos poros. A conceituação, a respeito do exposto é utilizada como forma de instituir um modelo para a classificação dos poros quanto ao tamanho, considerando a geometria e a configuração do espaço poroso. Desse modo, Ribeiro et al. (2007), descreve a classificação que diferencia os poros conforme seus diâmetros da seguinte forma:

[...] uma forma mais simplificada separa os poros em duas classes: micro e macroporos. Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979). Kiehl (1979) classifica como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos. A água retida em poros com diâmetro menor que 0,0002 mm não se encontra disponível para as plantas (OTHMER et al., 1991).

O comportamento físico-hídrico do solo é notoriamente dependente da distribuição dos poros e do tamanho dos mesmos, sendo fator condicionante da potencialidade agrícola dos solos (RIBEIRO et al., 2007).

Durante a compactação, os poros maiores, responsáveis pela aeração do solo, diminuem e são substituídos por poros menores, principalmente pelos que retêm água. Esse decréscimo da porosidade de aeração pode ser 1,5 a 2 vezes maior que o decréscimo no espaço poroso total (BOONE & VEEN, 1994). A diminuição do coeficiente de difusão do O<sub>2</sub> vai depender da geometria e estabilidade dos canais de poros de aeração e do grau de deformação durante a compactação. O uso de maquinário para o preparo do solo em condições inadequada de umidade tem como resultado na parte física do solo uma deformação plástica (MAZURANA et al., 2011 apud ORTIGARA et al., 2014) o que leva a formação de zonas compactadas (ORTIGARA et al., 2014) criadas pelo adensamento e rearranjo das partículas sólidas do solo, reduzindo a qualidade agrícola do solo e bem como a redução da macroporosidade (LANZANOVA, 2005).

### 3.MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 SELEÇÕES DOS LOCAIS DE COLETA

O estudo foi realizado na comunidade de Rincão de São Pedro, distrito de São Luiz Gonzaga/RS. As amostras foram coletadas, em lavouras conduzidas sob cultivo de alfafa consolidado com tempo de implantação do sistema variando entre um a sete anos e com nível de mecanização da produção completa ou incompleta em algumas das etapas produtivas da cultura.

Considera-se por mecanização completa na produção de alfafa, aquela que nas etapas de corte, revolvimento e enleiramento e coleta, sejam realizadas com auxílio de implementos próprios acoplados e tracionadas por trator, como segadoras para o corte, ancinhos enleiradores e coletores. E incompletas aquelas onde alguma das etapas seja realizada manualmente, com uso de ferramentas como gadanha, garfo e rastel.

Para seleção dos locais de amostragem, inicialmente foram levantados junto aos órgãos de assistência ao produtor rural (EMATER, Secretaria da Agricultura), estes não possuíam nenhuma informação sobre agricultores na atividade. Desse modo, a identificação baseou-se somente por pessoas da localidade, informações a cerca de propriedades que apresentassem os critérios descritos anteriormente e com interesse na realização do trabalho, independentemente da área cultivada.

Aos produtores selecionados foram tomadas inicialmente questões acerca de como é procedida a implantação e condução da cultura, manejo do solo, a existência de cuidados especiais com a entrada de maquinário na lavoura em função da umidade do solo, bem como um relato sobre a evolução do manejo ao longo dos anos do cultivo da alfafa, para os produtores mais antigos.

O cultivo da alfafa no distrito de Rincão de São Pedro, interior de São Luiz Gonzaga é datado de meados da década de 50, quando sementes vindas da Argentina passaram a ser cultivadas na localidade. Em seu apogeu na década de 60, a atividade ocupava em média uma área de cinco hectares por propriedade, havendo propriedades com áreas superiores a 10 hectares.

Configurando como característica dominante, uma estrutura fundiária notoriamente familiar, marcada por propriedades com grande número de membros por família. Outra característica peculiar dos primeiros anos de cultivo era uma

média de nove cortes por ano e vida útil dos alfafais na média de 7 a 10 anos, sendo após esse período abandonadas as áreas e deixadas como pastagem.

A implantação da lavoura iniciava com a realização da derrubada da mata, onde é descrito que por ocasião, reuniam-se cerca de oitenta pessoas para derrubar com machado áreas que chegavam a quatro hectares em um único dia. Com a derrubada da mata, era posteriormente feito a queimada dos restos vegetais e retirados os tocos, sendo no primeiro ano cultivado feijão.

Após um ano, iniciava-se o cultivo da alfafa, o qual envolvia o preparo do solo com arado a base de tração animal, sendo na sequência destorroada a área com auxílio de rasteis, de modo que por volta de julho a agosto fosse realizada a semeadura, resultando no primeiro corte, por volta de quatro meses depois deste período.

Todo o trabalho em torno da alfafa era realizado em sistema de mutirão e troca de serviços entre vizinhos, sendo a demanda de trabalho para cultura demasiadamente intensa em todas as etapas de serviço (corte, revolvimento e enleiramento e coleta), embora algumas destas fossem mais exigentes em mão de obra que outras. Desta forma, tal sistema empregava na etapa do corte da alfafa em média cinco pessoas, que dispunham de gadanha para o desempenho da atividade, sequencialmente a mesma permanecia na lavoura de modo a proceder sua secagem, revolvida constantemente para agilizar o processo de secagem.

Uma vez seca, a alfafa era enleirada, exigindo em relação à etapa anterior maior demanda tanto em mão de obra quanto em número de horas trabalhadas, em função da necessidade de rastelar toda a lavoura e embolar a alfafa já cortada, para só então após ser coletada do campo, sendo seu recolhimento feito com auxílio de carretas puxadas por bois. Feito isto, a mesma era levada até o galpão onde era enfardada com prensas tocadas por tração animal, os fardos produzidos pesavam em média 40kg sendo esses presos com arames maleáveis. Ao final era feita a comercialização por meio de atravessadores da própria comunidade que revendiam para criadores de cavalos e ao quartel local no período estimasse que existissem no local cerca de 20 propriedades produtoras da cultura.

A partir da década de 70 com o êxodo rural, o trabalho na alfafa acaba se tornando maçante e impraticável para muitos produtores devido à carência de mão de obra resultando em abandono de atividade. Também houve aqueles que migraram para culturas como trigo e soja. Os que se mantiveram na atividade,

iniciaram na década de 80 o processo de mecanização com aquisição dos primeiros tratores e ceifadores, que por sua vez resultou redução de tempo do trabalho para etapa de corte bem como menor dependência de mão de obra.

Por outro lado, as etapas de revolvimento e enleiramento e recolhimento, ainda mantinham-se primordialmente manuais (a base de rasteis) até o início da década de 90, demandando desta forma, muita mão de obra tanto familiar quanto contratadas, que após este período passaram a ser substituídas por enleiradores mecânicos, permitindo assim a maximização da atividade. Concomitantemente a este período, inicia-se a construção de terraços nas novas áreas cultivadas como prática conservacionista estimulada pela assistência técnica local, sendo mantido até os dias atuais em muitas das áreas.

Ainda na década de 90, verifica-se uma forte expansão do comércio da cultura local, ultrapassando assim a fronteira municipal, tendo em vista a crescente demanda pela mesma, a qual passou ser comercializada também para a capital do Estado para grandes produtores de cavalos e haras.

Entretanto, entre a de 90 até início dos anos 2000 ocorre o agravamento do êxodo rural, resultando em nova retração da atividade, embora já inserida a mecanização na cultura, muito dos produtores ainda eram dependentes de mão-de-obra contratada em uma ou mais etapas da produção. Mais do que isto, este fenômeno trouxe consigo um aprofundamento na diferenciação entre os produtores de alfafa, sendo encontrados produtores com mecanização parcial para cultura, produtores com mecanização para o corte e aqueles que realizavam integralmente as etapas manualmente. A esses produtores não mecanizados, surge como alternativa a falta de mão de obra, o contrato do trabalho mecanizado.

Com o estudo foi identificado na localidade de Rincão de São Pedro o número nove produtores de alfafa com uma área média de 3,5 hectares, trabalhando em sistema que vai do totalmente mecanizado (corte, revolvimento e enleiramento e coleta) ou parcialmente mecanizado na etapa de revolvimento e enleiramento e ou recolhimento sendo a etapa de corte totalmente mecanizada na comunidade,

Sobre os aspectos técnicos atuais, as sementes cultivadas são produzidas pelos próprios produtores sendo a cultivar utilizada a “crioula”, o sistema vigente de cultivo permanece o convencional com lavra ou escarificação seguido de grade niveladora com incorporação de calcário no mesmo mês da semeadura. Em relação ao corte, ainda prepondera à mesma média de nove cortes anuais, assim como no

início da implantação da cultura. O processo da transformação dos fardos de alfafa também passaram a ser feito por enfardadoras mecânicas otimizando ainda mais o sistema, os fardos atuais também foram alterados passando a serem mais leves com média de 20 kg utilizando materiais mais baratos para as amarras como o cordão de sisal.

Contudo, como fator preocupante destaca-se a altura de corte realizada, que é muitas vezes abaixo dos 5 cm, bem como a redução da vida útil das lavouras para em média cinco anos, salvo raras exceções chegando na barreira dos sete anos.

Quanto ao nível de mecanização identificado foram levantados dois níveis de mecanização, a completa (M.C) com todas as etapas da colheita da cultura são contemplados com maquinário próprio e a incompleta em dois níveis: a) mecanização do corte e revolvimento e enleiramento com coleta manual/ M.I (i); b) mecanização de corte revolvimento e enleiramento com manual e coleta mecanizada/ M.I (ii). Essas distinções se justificam pelo nível de especialização e acumulação de renda pelos produtores.

A propriedade com mecanização completa, possui uma área total produzida de 7 hectares sendo a maior da comunidade, estando dividida em 4 glebas, conforme data de implantação, em áreas de relevo e solo similares. Em toda a área da propriedade foram observados presença de terraços, relevo suavemente ondulado. As coletas foram feitas sobre condições de umidade adequadas, em duas datas distintas dias 27 de junho e dia 18 de agosto. O produtor conta com o parque de máquinas completo para atividade, sendo que para o trabalho de tração esse possui um trator da marca Massey Ferguson 4200.

Uma característica única do produtor é que o controle das invasoras são realizadas manualmente com auxílio de enxada em todas as glebas, apenas sendo feito pulverização com auxílio de maquinário, em casos de infestações de pragas ou incidência de patógenos de modo generalizado na área. Em caso de situação de “reboleiras com ataque de pulgão” como citado pelo produtor, o controle é feito com pulverizador costal.

A propriedade com mecanização incompleta para coleta da alfafa possui duas glebas totalizando 6 hectares, dividida em uma gleba de 4 anos (2 ha) e outra de 2 anos com (4 ha), ambas apresentando terraços ao longo da área. O produtor justifica a coleta manual, devido ao período de coleta coincidir muitas vezes com o momento de uso do maquinário pelo detentor.

As coletas foram feitas no dia 08 de junho. Em relação a gleba de dois anos, esta fica localizada em área com relevo ondulado e partes com áreas de solo mal drenado. Para o trabalho de corte enleiramento o produtor conta com maquinário próprio, sendo um trator da marca Valmet ano 82. Dentro da propriedade o controle de plantas invasoras é realizado com aplicação de herbicida com uso de pulverizador acoplado no trator.

A propriedade com mecanização incompleta possui uma gleba de 4 hectares, com três anos de cultivo. Nessa propriedade o enleiramento é manual, com o uso de e rastel. A coleta da alfafa a campo é feita de forma mecanizada, utilizando trator e reboque. Quanto à coleta das amostras de solo, essa foi realizada no dia 7 de setembro.

Em relação à entrada de maquinário com solo ainda úmido, todas as propriedades estudadas relataram fazer a entrada com o maquinário, mesmo que esta condição seja inadequada para o manejo mecânico. Desta forma, mesmo em períodos pós chuvas, onde o solo apresenta-se demasiadamente úmido, os mesmos não hesitam em utilizar os maquinários, desde que planta esteja em condições de corte, ou caso necessite de aplicações de produtos para controle de invasoras e pragas.

### 3.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Para a condução do trabalho, foi selecionada uma lavoura de alfafa para cada distinto nível de mecanização diagnosticado na comunidade. 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 julho a setembro 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 30 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.

Cada amostra foi armazenada em embalagem individual fechada e levada ao laboratório de física do solo, onde passavam inicialmente por limpeza dos anéis,

pesagem e posterior saturação em água, seguido 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.

Em cada gleba estudada, também foi realizados a análise de 3 pontos pelo método do Perfil Cultural. Nesse método ocorre a remoção do solo de forma que a superfície e as laterais do perfil analisado se mantivessem preservadas. Após isso, se avaliou as condições dos indicadores estruturais do solo: formato, tamanho, distribuição dos elementos estruturais e agregados e torrões; presença ou ausência de poros, entre outros fatores (TAVAREZ FILHO, 1999).

Foram também coletados 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.

### 3.3 VARIÁVEIS ANALISADAS E MÉTODOS ANALÍTICOS

As propriedades físicas do solo que foram avaliadas são: textura pelo método da pipeta, densidade do solo ( $D_s$ ), pelo método do anel volumétrico, grau de compactação do solo; densidade da partícula ( $D_p$ ), pelo método do balão volumétrico, ( $GC$ ), calculado pela relação:  $GC = D_s/D_{smáx} \times 100$ , onde o valor da densidade referência é dado através da expressão de Marcolin e Klein (2011)  $D_{smáx} = 2,03133855 - 0,00320878 * MO - 0,00076508 * argila$ ; porosidade total ( $P$ ) calculada pela expressão  $P = 1 - D_s/D_p$ ; microporosidade ( $Mip$ ), pelo método da mesa de tensão, e a macroporosidade ( $Mac$ ) 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).

Para orientar as coletas no perfil do solo e avaliar qualitativamente a influência do manejo sobre a estrutura do solo foram feitas avaliações seguindo-se a metodologia do Perfil Cultural, seguindo-se a metodologia proposta por Tavares Filho et al. (1999), adaptada para solos tropicais, o qual faz o detalhamento das características morfológicas do estado interno dos torrões de solo e seu modo de organização no perfil. No primeiro nível (Tabela 1) é explicado o modo de organização do perfil, de modo a diferenciar os horizontes alterados ou não pelo manejo agrícola. Enquanto que o segundo nível (Tabela 2) descreve o estado

interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização relativos ao primeiro nível.

Tabela 1. Modos de organização do perfil do solo.

NÍVEL DE ANÁLISE	SIMBOLOGIA	DEFINIÇÃO
I	AM	Volume de solo visualmente alterado pelo manejo, isto é, pelo maquinário agrícola e pelas raízes.
	N AM	Volume de solo visualmente não alterado pelo manejo.
II	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanhos variados (de 0 a 10cm) sem nenhuma coesão. Com uma superfície dos solos trabalhados. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume de solo são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas. A porosidade a olho nu é importante.
	F	Volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo estes de tamanhos variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspecto achatado. A porosidade é essencialmente fissural.
(Somente para volume AM)	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes, quando presentes nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente, não são ramificadas e, além da tortuosidade, apresentam aspecto bem achatado.
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas orientadas em todas as direções, quando o volume não for compacto, e, ou, não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e, ou, poros tubulares.

Fonte: Tavares Filho et al. (1999)

Tabela 2. Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.

NÍVEL DA ANÁLISE	SIMBOLOGIA	DEFINIÇÃO
III	$\mu$ (Agregado não compacto)	Estado interno dos torrões caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros tipo amontoamento de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são rugosas e a coesão a seco é pequena.
	$\Delta$ (Agregado compacto)	Estado interno de torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu muito pouco desenvolvido, com predominância, quando existir, de poros tubulares e, ou, cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muito elevada.
	$\mu\Delta/\Delta\mu$ (Agregado $\pm$ compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades:  (1) Estado ( $\mu\Delta$ ): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto $\mu$ sobre as características do estado compacto $\Delta$ (definidos acima);  (2) Estado ( $\Delta\mu$ ): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto $\mu$ (definido acima).

Fonte: Tavares Filho et al. (1999)

### 3.4 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos foram digitados e organizados em planilhas do Microsoft Excel. Para confecção dos perfis foi usado como ferramenta o software Grapher4 da Golden Software. Os indicadores físicos do solo obtidos no estudo foram classificados de acordo com os limites críticos encontrados na literatura, para cada classe de solo. Com base nisso, foi possível avaliar se as condições físicas dos solos cultivados com alfafa estão dentro de faixas adequadas para o desenvolvimento da cultura e para manter as funções ecológicas do solo.

#### 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em três partes, considerando a densidade do solo (DS) e grau de compactação (GC), porosidade e informações sobre análise do Perfil Cultural. A discussão dos resultados também considerará as afluições entre os diferentes parâmetros analisados, na tentativa de associar as situações que ocorrem com mais frequência para os parâmetros densidade e porosidade como modo de descrever a estrutura do solo nas áreas cultivadas com alfafa.

##### 4.1 DENSIDADE DO SOLO E GRAU DE COMPACTAÇÃO

Os resultados apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 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, quanto ao ano da gleba amostrada bem quanto às camadas estudadas.

Os valores críticos de densidade foram baseados na granulometria encontradas das distintas glebas do estudo (Tabela 3) e comparados com a densidade atual do solo, enquanto que com o resultado do grau de compactação foi calculado a partir da densidade do solo máxima estimada (Tabela 4.).

Tabela 3. Teor de argila, areia e silte e classe textural e os correspondentes valores críticos de densidade do solo (DS) das glebas dos distintos níveis de mecanização.

Ano Gleba	Nível Mecanização	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Classe Textural	Valores críticos (Ds) Mg m <sup>-3</sup>
1 ano	M.C	67,8	8,3	23,9	Muito Argilosa	1,25 a 1,3*
2 anos	M.C	57,0	13,2	29,8	Argilosa	1,3 a 1,4*
6 anos	M.C	59,9	10,3	29,8	Argilosa	1,3 a 1,4*
7 anos	M.C	60,4	9,5	30,1	Muito Argilosa	1,25 a 1,3*
2 anos	M.I (i)	52,2	11,0	36,7	Argilosa	1,3 a 1,4*
4 anos	M.I (i)	35,4	9,7	54,8	Franco-argilo- siltosa	1,56*
3 anos	M.I (ii)	54,9	12,2	32,9	Argilosa	1,3 a 1,4*

MC=Mecanização incompleta; MI(i)= Mecanização incompleta para a coleta, MI (ii)= Mecanização incompleta para revolvimento e enleiramento.

(\*) valor crítico descrito por Reichert (2011) para as classes textural do solo.

Tabela 4. Teor de argila e matéria orgânica (MO) e densidade do solo máxima (DSmáx).

<b>Ano da gleba/ nível de mecanização</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>M.O (%)</b>	<b>Dsmáx ( Mg m<sup>-3</sup> )</b>
<b>1/ MC</b>	0 - 10	67,8	32	1,41
<b>1/ MC</b>	10-20		33	1,41
<b>1/ MC</b>	20-30		29	1,42
<b>2/ MC</b>	0 - 10	57,0	34	1,49
<b>2/ MC</b>	10-20		31	1,50
<b>6/ MC</b>	20-30		16	1,54
<b>6/ MC</b>	0 - 10	59,9	33	1,47
<b>6/ MC</b>	10-20		31	1,47
<b>6/ MC</b>	20-30		28	1,48
<b>7/ MC</b>	0 - 10	60,4	32	1,47
<b>7/ MC</b>	10-20		34	1,46
<b>7/ MC</b>	20-30		31	1,47
<b>2/ MI (i)</b>	0 - 10	52,2	30	1,54
<b>2/ MI (i)</b>	10-20		26	1,55
<b>2/ MI (i)</b>	20-30		24	1,55
<b>4/ MI (i)</b>	0 - 10	35,4	36	1,64
<b>4/ MI (i)</b>	10-20		29	1,67
<b>4/ MI (i)</b>	20-30		28	1,67
<b>3/ MI (ii)</b>	0 - 10	54,9	24	1,53
<b>3/ MI (ii)</b>	10-20		24	1,53
<b>3/ MI (ii)</b>	20-30		22	1,54

MC=Mecanização incompleta; MI(i)= Mecanização incompleta para a coleta, MI (ii)= Mecanização incompleta para revolvimento e enleiramento.

Para propriedade com nível de mecanização completa os valores entre os distintos anos de atividade apresentaram diferenças pouco expressivas para os valores de densidade (Tabela 5 e 6). Na gleba de um ano com classe textural muito argilosa (Tabela 3.) a densidade média encontrada foi menor na camada superficial obtendo um valor médio de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , ficando dentro da faixa limite de 1,25 a  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  (REICHERT et al., 2009), os valores de densidade encontrados nessa camada (Gleba 1 ano) foram menores quando comparados comparada a mesma profundidade para gleba de sete anos de mesma classe textural.

Observa-se também que a densidade para as profundidades 10 a 20 cm e 20 a 30 cm não apresentaram diferenças significantes, possivelmente, devido à elevada densidade já presente ao longo do sistema de produção, indicando alto estado de compactação da área, reflexo de um provável histórico das tensões suportadas pelo solo no passado.

Para gleba de dois anos com classe textural argilosa, ocorreu a redução gradual da densidade do solo com o aprofundamento do perfil, onde a camada superficial de 0 a 10 cm apresentou densidade mais elevada nas primeiras camadas (Tabela 5), obtendo um valor médio de  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ , valor que fica acima da densidade crítica para classe textural que é em média de 1,30 a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ . Enquanto que a última camada observou uma valor de  $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ .

De maneira similar a gleba de 6 anos na profundidade de 0-30 cm apresentou menor densidade ( $1,34 \text{ Mg m}^{-3}$ ) nessa camada. A camada com maior valor médio foi a de 0 a 10 cm com média de  $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$ . Situação oposta à descrita por Bicalho (2011), onde os valores de densidade nos solos tendem a variar também em função de fatores como textura diferenciada no perfil, além da densidade tender a aumentar com a profundidade, sendo alterada em função de fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo.

Tabela 5. 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 a propriedade com nível completo de mecanização, para as glebas de 1 e 2 anos.

<b>Ano da gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof (cm)</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>G.C (%)</b>
<b>1 ANO</b>	<b>PONTO 1</b>	0-10	1,27	89,87
		10-20	1,64	116,34
		20-30	1,50	105,32
	<b>PONTO 2</b>	10-20	1,59	112,78
		20-30	1,64	115,16
	<b>PONTO 3</b>	0-10	1,32	93,86
		10-20	1,33	94,57
		20-30	1,39	98,69
	<b>PONTO 4</b>	0-10	1,22	85,65
		10-20	1,37	97,70
		20-30	1,46	103,19
	<b>PONTO 5</b>	0-10	1,39	98,83
		10-20	1,23	87,38
		20-30	1,35	95,31
	<b>2 ANO</b>	<b>PONTO 1</b>	0-10	1,49
10-20			1,45	96,69
20-30			1,39	90,32
<b>PONTO 2</b>		0-10	1,59	106,71
		10-20	1,48	98,85
		20-30	1,41	91,35
<b>PONTO 3</b>		0-10	1,46	98,11
		10-20	1,33	88,80
		20-30	1,31	84,61
<b>PONTO 4</b>		0-10	1,40	94,51
		10-20	1,40	93,39
		20-30	1,30	84,10
<b>PONTO 5</b>		0-10	1,58	106,54
		10-20	1,55	103,46
		20-30	1,36	88,28

Entre as glebas de nível de mecanização completa, a parcela de 7 anos (Tabela 6), foi a que apresentou os valores médios mais altos ao longo das profundidades extrapolando o limite crítico de 1,30 Mg m<sup>-3</sup>, onde a camada de 10 a 20 cm apresentou a média de densidade mais alta na gleba atingindo o valor 1,47 Mg m<sup>-3</sup>, sendo esse o maior índice encontrado para essa profundidade entre as glebas trabalhadas nesse nível de manejo. O mesmo comportamento observado em relação a camada anterior ocorreu na última camada, onde o valor de 1,46 Mg m<sup>-3</sup> representou a maior densidade para essa profundidade. Os elevados valores tanto na camada de 10 a 20 e 20 a 30 cm, se devem possivelmente à

elevada atividade de maquinário sobre a área em condições muitas vezes inadequadas.

Tabela 6. 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 a propriedade com nível completo de mecanização, para as glebas de 6 e 7 anos.

<b>Ano Da Gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof (Cm)</b>	<b>DS ( Mg m<sup>-3</sup> )</b>	<b>G.C (%)</b>
<b>6 ANOS</b>	<b>PONTO 1</b>	0-10	1,48	101,08
		10-20	1,43	96,83
		20-30	1,37	92,07
	<b>PONTO 2</b>	0-10	1,41	96,37
		10-20	1,49	101,00
		20-30	1,30	87,70
	<b>PONTO 3</b>	0-10	1,61	109,90
		10-20	1,33	90,41
		20-30	1,41	94,94
	<b>PONTO 4</b>	0-10	1,39	94,94
		10-20	1,40	94,66
		20-30	1,35	90,75
	<b>PONTO 5</b>	0-10	1,30	88,47
		10-20	1,43	97,15
		20-30	1,30	87,48
<b>7 ANO</b>	<b>PONTO 1</b>	0-10	1,52	103,67
		10-20	1,50	102,95
		20-30	1,56	105,92
	<b>PONTO 2</b>	0-10	1,52	103,79
		10-20	1,53	104,90
		20-30	1,45	98,71
	<b>PONTO 3</b>	0-10	1,39	95,06
		10-20	1,38	94,81
		20-30	1,40	95,14
	<b>PONTO 4</b>	0-10	1,28	87,23
		10-20	1,51	103,44
		20-30	1,44	98,18
	<b>PONTO 5</b>	0-10	1,28	87,45
		10-20	1,44	98,53
		20-30	1,46	99,15

Para propriedade com mecanização incompleta para coleta, os valores de densidades foram os mais elevados do diagnóstico (Tabela 7 e 8), chegando a valores superiores a 1,60Mg m<sup>-3</sup>. No estudo observou que os valores médios para as três profundidades avaliadas, da gleba de quatro anos foram relativamente inferiores à média obtida para a gleba de dois anos. Na gleba de 4anos (Tabela 8), as densidades médias obtidas para cada profundidade foram de 1,44Mg m<sup>-3</sup>, 1,47Mg m<sup>-3</sup>

<sup>3</sup>e 1,50 Mg m<sup>-3</sup> ficando dentro do limite crítico para solos de textura média que é de 1,56 Mg m<sup>-3</sup> (REICHERT, 2001).

Tabela 7. 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 a propriedade com nível de mecanização incompleto para a coleta, para gleba de 2 anos.

<b>Ano da gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof (cm)</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>GC (%)</b>
<b>2 ANO</b>	PONTO 1	0-10	1,62	105,22
		10-20	1,54	99,31
		20-30	1,65	106,34
	PONTO 2	0-10	1,69	109,77
		10-20	1,69	109,18
		20-30	1,69	108,48
	PONTO 3	0-10	1,66	108,16
		10-20	1,59	102,81
		20-30	1,50	96,51
	PONTO 4	0-10	1,66	108,25
		10-20	1,80	116,32
		20-30	1,53	98,29
	PONTO 5	0-10	1,61	104,75
		10-20	1,75	113,11
		20-30	1,65	106,01

Tabela 8. 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 na propriedade com nível de mecanização incompleto para a coleta da alfafa, para a gleba de 4 anos.

<b>Ano da gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof (cm)</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>GC (%)</b>
<b>4 ANOS</b>	PONTO 1	0-10	1,40	85,06
		10-20	1,45	86,68
		20-30	1,41	84,11
	PONTO 2	0-10	1,54	93,42
		10-20	1,52	91,32
		20-30	1,56	93,09
	PONTO 3	0-10	1,39	84,70
		10-20	1,53	91,76
		20-30	1,62	96,99
	PONTO 4	0-10	1,46	88,71
		10-20	1,39	83,66
		20-30	1,41	84,11
	PONTO 5	0-10	1,47	89,42
		10-20	1,56	93,30

Para gleba de dois anos (Tabela 7) os valores médios em todas as profundidades foram superiores a  $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ , estando bem acima do limite crítico de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  segundo (REINERT&REICHERT,2001).

Os valores observados para a propriedade com nível de mecanização incompleto para revolvimento e enleiramento (Tabela 9.) demonstram que a camada superficial é a que apresenta menor média de densidade para o tipo do solo, em relação às outras profundidades estudadas obtendo média de  $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ , sendo que em profundidade essa diferença é quase insignificante em valores de densidade, tendo a camada de 20-30 cm o valor médio mais elevado com cerca de  $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$  e a de 10 a 20 cm  $1,42 \text{ Mg m}^{-3}$ , todos fora do limite crítico de densidade para classe textural encontrada.

Tabela 9. 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 na propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento.

Ano da gleba	Ponto	Prof (cm)	DS ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	GC (%)
3 ANOS	PONTO 1	0-10	1,41	91,58
		10 -20	1,59	103,52
		20 -30	1,45	93,94
	PONTO 2	0-10	1,41	91,93
		10-20	1,26	81,89
		20-30	1,40	90,53
	PONTO 3	0-10	1,40	91,38
		10-20	1,40	90,95
		20-30	1,42	92,34
	PONTO 4	0-10	1,40	90,94
		10-20	1,42	92,49
		20-30	1,47	95,15
	PONTO 5	0-10	1,28	83,47
		10-20	1,43	93,09
		20-30	1,45	93,94

Pode-se observar em relação à gleba de 1 ano com nível completo de mecanização (Tabela 5), que entre os cinco pontos da camada de 0 a 10 cm a variação de densidade do solo foi de  $1,22$  a  $1,59 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $85,65$  a  $112,78 \%$  para o grau de compactação. Para a profundidade de 10 a 20 cm, a densidade do solo variou de  $1,23$  a  $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$  e o grau de compactação variou de  $87,38$  a  $116,34 \%$ , enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm, a densidade do solo variou de  $1,35$  a

1,64 Mg m<sup>-3</sup> e o grau de compactação foi de 95,31 a 115,16%. Assim, pode-se perceber que a densidade do solo bem como o grau de compactação aumentou com o aprofundamento do perfil.

Já para a gleba de 2 anos com nível completo de mecanização, (Tabela 5) a camada de 0 a 10 cm variou de 1,40 a 1,59 Mg m<sup>-3</sup> de densidade do solo e 94,51 a 106,71 % para o grau de compactação. Na profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo, variou de 1,33 a 1,55 Mg m<sup>-3</sup> enquanto o grau de compactação foi de 88,80 a 103,46% e a profundidade de 20 a 30 cm apresentou variações de 1,30 a 1,41 Mg m<sup>-3</sup> para a densidade do solo e 84,10 a 91,35 % para o grau de compactação. Desta forma, pode-se perceber que ao contrário do que o observado para área de 1 ano (nível completo de mecanização) que a densidade do solo, bem como o grau de compactação do solo reduziram gradativamente com o aprofundamento do perfil.

Ainda para a propriedade de nível completo de mecanização na gleba de 6 anos (Tabela 6), verificou-se entre todos os pontos da camada de 0 a 10 cm, que os valores de densidade do solo variaram de 1,30 a 1,61 Mg m<sup>-3</sup> e 88,48 a 109,90 % para o grau de compactação. Já para a profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,33 a 1,49 Mg m<sup>-3</sup> e 90,41 a 101,00% de grau de compactação, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm a densidade do solo variou 1,30 a 1,41 Mg m<sup>-3</sup> e 87,48 a 99,94 % de grau de compactação. Para o caso em questão, observou-se os menores valores de densidade e grau de compactação encontravam-se na última camada, ocorrendo como para área de 2 anos a redução do grau de compactação com o aprofundamento do perfil.

Para a última gleba (7anos) da propriedade de nível completo de mecanização (Tabela 6), verificou-se na camada de 0 a 10 cm valores de densidade do solo variando de 1,28 a 1,52 Mg m<sup>-3</sup> e grau de compactação variando de 87,23 a 103,67%. Já para a profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,38 a 1,53 Mg m<sup>-3</sup> e o grau de compactação foi de 94,31 a 104,90%, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm a densidade do solo variou 1,40 a 1,56 Mg m<sup>-3</sup> e o grau de compactação de 95,14 a 105,92%. O caso em questão apresentou comportamento similar ao primeiro ano, onde a densidade do solo bem como o grau de compactação do solo aumentou com o aprofundamento do perfil. Segundo Bicalho (2011), os valores de densidade nos solos tendem a aumentar com a profundidade, sendo alterada em função de fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo.

Ainda no que se refere à densidade do solo e grau de compactação das glebas de 2 e 4 anos com nível de mecanização incompleto (Tabela 7 e 8) para a coleta da alfafa, constatou-se para a gleba de 2 anos que entre todos os pontos da camada de 0 a 10 cm os valores de densidade do solo variaram de 1,61 a 1,69 Mg m<sup>-3</sup> e 104,75 a 109,77% de grau de compactação. Já para a profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,45 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> e o grau de compactação variou de 86,88 a 116,32 %, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm a densidade do solo variou 1,50 a 1,69 Mg m<sup>-3</sup> e o grau de compactação 96,51 a 108,48 %. Nesse caso em questão assim como em outros casos, verificaram menores valores de grau de compactação e densidade de solo na camada de 20 a 30 cm, seguida da camada mais superficial (0-10 cm), conferindo valores mais elevados na camada intermediária.

Já para gleba de 4 anos (com nível de mecanização incompleto para a coleta da alfafa) obteve-se para a camada de 0-10 cm valores e densidade do solo variando de 1,39 a 1,54 Mg m<sup>-3</sup> e grau de compactação variando de 84,70 a 93,42%. Na profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,39 a 1,56 Mg m<sup>-3</sup> e grau de compactação 83,66 a 93,30 %, enquanto a profundidade de 20 a 30 cm, a densidade do solo variou 1,41 a 1,62 Mg m<sup>-3</sup> e grau de compactação variou de 84,11 a 96,99.

Para a propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento (Tabela 9), constatou-se para a gleba de 3 anos, que na camada de 0 a 10 cm os valores de densidade do solo variaram de 1,28 a 1,41 Mg m<sup>-3</sup> e 83,47 a 91,93% de grau de compactação. Já para a profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,26 a 1,59 Mg m<sup>-3</sup> e 81,89 a 103,52% de grau de compactação, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm a densidade do solo variou de 1,40 a 1,47 Mg m<sup>-3</sup> e apresentou valores entre 90,53 a 95,15 % de grau de compactação. Nesse caso em questão, observou-se de forma geral, que a primeira camada foi a que apresentou menor densidade, seguida da camada sub-superficial (10-20 cm) e posteriormente a camada de 20 a 30 cm.

Observou entre as quatro glebas do nível de mecanização completo para as camadas de 0 a 10 cm os valores de densidade variaram de 1,21 a 1,69 Mg m<sup>-3</sup> e 85,65 a 112,78 % de grau de compactação, já para a profundidade de 10 a 20 cm os valores de densidade variaram de 1,23 a 1,6 Mg m<sup>-3</sup> e 87,38 a 109,90% de grau de compactação, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm os valores de

densidade variaram de 1,30 a 1,64  $\text{Mg m}^{-3}$  e 84,10 a 115,16% de grau de compactação. Já para o nível de mecanização incompleto para a coleta da alfafa a densidade do solo variou entre 1,39 a 1,69  $\text{Mg m}^{-3}$  e o grau de compactação variou de 84,70 % a 109,77% na camada de 0 a 10 cm, sendo para a camada de 10 a 20 obtidos valores entre 1,39 a 1,80  $\text{Mg m}^{-3}$  de densidade do solo e entre 83,66 a 116,32 % para grau de compactação. Já para a última camada se obteve variações entre 1,41 e 1,69  $\text{Mg m}^{-3}$  de densidade do solo e entre 84,11 a 108,48 % para grau de compactação.

Enquanto que a propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento, constatou-se para a gleba de 2 anos, que na camada de 0 a 10 cm os valores de densidade do solo variaram de 1,28 a 1,41  $\text{Mg m}^{-3}$  e 83,47 a 91,93% de grau de compactação. Já para a profundidade de 10 a 20 cm a densidade do solo variou de 1,26 a 1,59  $\text{Mg m}^{-3}$  e 81,89 a 103,52% de grau de compactação, enquanto para a profundidade de 20 a 30 cm a densidade do solo variou de 1,40 a 1,47  $\text{Mg m}^{-3}$  e apresentou valores entre 90,53 a 95,15 % de grau de compactação.

O diagnóstico para todos os níveis de mecanização bem como para todas as profundidades avaliadas, apresentação grau de compactação maior que 80%. Nesse sentido Suzuki (2004), informa que os valores de grau de compactação para Latossolo com percentual acima de, 76% são considerados elevados, podendo reduzir poros de aeração, e aumentar a densidade e resistência do solo à penetração, dificultando dessa forma o desenvolvimento radicular. Para Linstrom & Voorhess (1994) apud Oliveira et al. (2010) valores acima de 86%, são prejudiciais ao desenvolvimento e rendimento das culturas. Assis (2002) complementa que apesar do grau de compactação não ser suficiente para realizar o diagnóstico do efeito dos atributos físicos do solo sobre as plantas, este parâmetro serve como indicador de prováveis limitações ao desenvolvimento das culturas.

Nos casos de grau de compactação acima de 100%, é explicado devido ao fato das Densidades Referência ou densidade do solo máxima (DS máx) estar menor que a densidade atual do solo obtida a campo (SUZUKI et al, 2007).

Portanto, em relação aos três distintos tipos de mecanização (nível completo de mecanização, nível de mecanização incompleto para a coleta da alfafa e nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento) constatou-se que a camada de 0 a 10 cm a propriedade com nível incompleto de mecanização para o

revolvimento e enleiramento apresentou densidade do solo menor do que nível de mecanização completo, sendo a propriedade com apresentar os maiores valores, por outro lado em relação ao grau de compactação da propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento este foi maior no nível de mecanização completo, seguido da área mecanização incompleto para a coleta da alfafa, sendo menor na área com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento. Já para as camadas mais inferiores (10-20 cm e 20-30) a densidade do solo novamente foi menor na área com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento, maior para o nível de mecanização incompleto, sendo intermediária para nível completo de mecanização. Desta forma, verifica-se que a propriedade com nível de mecanização incompleta para o revolvimento e enleiramento, possui menores valores de densidade. Segundo Guimarães & Lopes (1986) apud Bicalho (2011) valores muito elevados de densidade do solo podem atuar como fator limitante ao desenvolvimento e produtividade de culturas perenes, devido ao fato de que a maior parte do sistema radicular ativo encontra-se até a profundidade de 0,30 m.

É observado no estudo há existência de uma relação entre a idade e aumento da densidade do solo, quando comparado às glebas de mesmas classes textural. No entanto a relação, idade versus aumento de densidade, é dissolvido quando analisado sobre o aspecto nível de mecanização, onde glebas de mesma classe textural, com mecanização diferenciada, apresentação dissociação de valores de densidade bem como os demais parâmetros avaliados.

#### 4.2 POROSIDADES DO SOLO

Os resultados das avaliações da porosidade do solo são apresentados em três tabelas conforme o nível de mecanização. Foram avaliadas três profundidades, de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Como se pode observar na Tabela 10, para a propriedade com nível completo de mecanização os valores de macroporosidade para gleba de 1 ano, apresentaram valores pouco acima do limite crítico de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , nas profundidade de 0 a 10 cm no ponto um, três e quatro e na camada de 10 a 20cm no ponto três, quatro e cinco e no último volume de solo estudado de 20 a 30 ponto cinco. Na gleba de dois anos (Tabela 11) os valores de macroporosidade apresentaram valores mínimos esperados apenas nas profundidades de 0 a 10 cm

para os pontos três e quatro. E na profundidade de 10 a 20 cm para o ponto um e três. Para camada de 20-30 cm entre os cinco ponto da gleba seis obteve-se valores de macroporosidade ultrapassando levemente o índice mínimo de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Tabela 10. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 1 ano.

Ano Gleba	Ponto	Prof (cm)	PT ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )
1 ANO	PONTO 1	0-10	0,56	0,42	0,13
		10-20	0,43	0,37	0,06
		20-30	0,48	0,41	0,06
	PONTO 2	10-20	0,44	0,36	0,08
		20-30	0,43	0,40	0,03
	PONTO 3	0-10	0,54	0,42	0,12
		10-20	0,53	0,41	0,12
		20-30	0,51	0,46	0,06
	PONTO 4	0-10	0,57	0,37	0,21
		10-20	0,52	0,41	0,11
		20-30	0,49	0,41	0,08
	PONTO 5	0-10	0,51	0,45	0,06
		10-20	0,57	0,36	0,21
		20-30	0,53	0,38	0,15

Tabela 11. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 2 anos.

Ano Gleba	Ponto	Prof (cm)	PT ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )
2 ANO	PONTO 1	0-10	0,48	0,40	0,09
		10-20	0,50	0,40	0,10
		20-30	0,52	0,39	0,12
	PONTO 2	0-10	0,45	0,40	0,05
		10-20	0,49	0,42	0,07
		20-30	0,51	0,44	0,07
	PONTO 3	0-10	0,49	0,39	0,10
		10-20	0,54	0,37	0,17
		20-30	0,55	0,35	0,20
	PONTO 4	0-10	0,51	0,40	0,12
		20-30	0,55	0,38	0,17
	PONTO 5	0-10	0,45	0,39	0,06
		10-20	0,46	0,38	0,08
		20-30	0,53	0,37	0,15

A gleba de seis anos para propriedade com nível de mecanização completa (Tabela 12), obteve-se para os pontos um, dois e cinco índices mínimos de macroporosidade para as profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Para camada de 20-30 cm para os cinco pontos da gleba seis obteve-se os valores de macroporosidade que ultrapassaram levemente o índice mínimo de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Tabela 12. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível completo de mecanização na gleba de 6 anos.

Ano Gleba	Ponto	Prof. (Cm)	PT ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )
<b>6 ANOS</b>	PONTO 1	0-10	0,49	0,38	0,11
		10-20	0,51	0,39	0,12
		20-30	0,53	0,40	0,13
	PONTO 2	0-10	0,51	0,41	0,11
		10-20	0,49	0,41	0,08
		20-30	0,55	0,39	0,16
	PONTO 3	0-10	0,45	0,40	0,04
		10-20	0,54	0,39	0,15
		20-30	0,52	0,41	0,10
	PONTO 4	0-10	0,52	0,43	0,10
		10-20	0,52	0,45	0,07
		20-30	0,54	0,36	0,18
	PONTO 5	0-10	0,55	0,38	0,17
		10-20	0,51	0,39	0,12
		20-30	0,55	0,35	0,20

Na gleba de sete anos (Tabela 13), o índice mínimo foi observado nas profundidades 0 a 10 cm nos pontos 4 e 5, e na camada de 10 a 20 cm para os pontos 1, 3 e 5. Por fim nos pontos 2, 3, 4 e 5 da profundidade de 20 a 30 atingiram o índice mínimo de macroporosidade. Os resultados médios de macroporosidade para as quatro glebas trabalhadas com alfafa foram de  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Na propriedade com nível de mecanização incompleta para coleta da alfafa, observou-se valores médios de macroporosidade distintos para as glebas de 4 e 2 anos (Tabela 14).

Tabela 13. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível de mecanização completa para cultura da alfafa para gleba de 7 anos.

<b>Ano Gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof. (Cm)</b>	<b>PT (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
<b>7 ANO</b>	PONTO 1	10-20	0,46	0,38	0,08
		20-30	0,44	0,40	0,04
	PONTO 2	0-10	0,45	0,41	0,04
		10-20	0,45	0,41	0,05
		20-30	0,48	0,37	0,11
	PONTO 3	0-10	0,50	1,24	0,00
		10-20	0,50	0,37	0,13
		20-30	0,50	0,38	0,11
	PONTO 4	0-10	0,54	0,38	0,16
		10-20	0,46	0,39	0,07
		20-30	0,48	0,39	0,09
	PONTO 5	0-10	0,54	0,37	0,17
		10-20	0,48	0,37	0,12
		20-30	0,48	0,37	0,11

Na área de 4 anos, o valor limite de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de macroporosidade foi encontrado na profundidade 0 a 10 cm somente nos pontos 1 e 3, enquanto para a profundidade 10 a 20 cm apenas no ponto 4. A última camada (20 a 30 cm) se obteve o valor limite novamente no ponto 4. Para a gleba de dois não foi atingido o valor mínimo de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de macroporos em nenhum dos cinco pontos. Os dados mostram ainda a presença de vários pontos com macroporosidade igual a zero, em especial para o ponto dois que nas três camadas os valores foram nulos. No ponto três o valor foi zero para primeira camada de 0-10 cm e para o ponto 4 e 5 os valores nulos ficaram na camada intermediária de 10 a 20 cm. Os resultados médios obtidos da macroporosidade foram os mais preocupantes ficando na média de  $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para a gleba de dois anos e de  $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para gleba de quatro anos.

Tabela 14. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtidos na propriedade com nível incompleto de mecanização para a coleta de alfafa.

<b>Ano Gleba</b>	<b>Ponto</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>P.T (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
<b>2 ANO</b>	PONTO 1	0-10	0,43	0,40	0,03
		10-20	0,46	0,39	0,07
		20-30	0,42	0,41	0,01
	PONTO 2	0-10	0,41	0,41	0,00
		10-20	0,41	0,43	0,00
		20-30	0,41	0,44	0,00
	PONTO 3	0-10	0,42	0,43	0,00
		10-20	0,44	0,42	0,02
		20-30	0,47	0,40	0,08
	PONTO 4	0-10	0,42	0,38	0,04
		10-20	0,37	0,43	0,00
		20-30	0,46	0,39	0,08
	PONTO 5	0-10	0,44	0,41	0,02
		10-20	0,39	0,42	0,00
		20-30	0,42	0,38	0,04
<b>4 ANOS</b>	PONTO 1	0-10	0,52	0,42	0,10
		10-20	0,50	0,42	0,09
		20 -30	0,52	0,42	0,10
	PONTO 2	0-10	0,47	0,45	0,03
		10-20	0,48	0,43	0,05
		20-30	0,47	0,39	0,07
	PONTO 3	0-10	0,52	0,42	0,10
		10-20	0,47	0,44	0,03
		20-30	0,44	0,43	0,01
	PONTO 4	0-10	0,50	0,45	0,05
		10-20	0,52	0,42	0,11
		20-30	0,52	0,40	0,12
	PONTO 5	0-10	0,49	0,45	0,04
		10-20	0,47	0,40	0,07

Na propriedade com nível de mecanização incompleto para o revolvimento e enleiramento (Tabela 15) demonstraram que para as camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm somente o ponto 1 não atingiu o valor limite de macroporosidade de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Em relação à média de macroporos se obteve no valor de 0,11 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, verificando-se redução dos valores de macroporosidade com o aprofundamento do perfil com exceção dos pontos um e dois.

Comparando os valores obtidos nas propriedades com diferentes níveis de mecanização, observou uma ampla variação em relação à presença de macroporos ao longo do perfil. Onde para propriedade com nível de mecanização completa, na gleba de um ano os valores mais elevados de macroporos ficaram nas camadas superficiais (0-10 cm) com exceção ao ponto cinco onde o valor de  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  foi obtido na camada de 10 a 20 cm. Para a gleba de dois e seis anos os maiores valores variam entre a camada de 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Na gleba de sete anos repetiu-se o padrão da gleba de um ano com valores maiores na primeira camada mesma característica observada para a propriedade com mecanização incompleta para o revolvimento e enleiramento. No caso da propriedade com mecanização incompleta para coleta as duas glebas tiveram variação entre os valores mais altos dentro do perfil.

**Tabela 15.** Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, obtido na propriedade com nível incompleto de mecanização para o revolvimento e enleiramento.

Ano da Gleba	Ponto	Prof. (cm)	P.T ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )
<b>3 ANOS</b>	Ponto 1	0-10	0,52	0,49	0,02
		10 -20	0,45	0,44	0,01
		20 -30	0,50	0,39	0,12
	Ponto 2	0-10	0,52	0,41	0,10
		10-20	0,57	0,37	0,20
		20-30	0,52	0,39	0,13
	Ponto 3	0-10	0,52	0,39	0,13
		10-20	0,52	0,40	0,12
		20-30	0,51	0,44	0,07
	Ponto 4	0-10	0,52	0,39	0,13
		10-20	0,51	0,38	0,13
		20-30	0,50	0,37	0,13
	Ponto 5	0-10	0,56	0,37	0,19
		10-20	0,51	0,39	0,12
		20-30	0,50	0,41	0,10

A porosidade total não mostrou tanta variação ficando em com uma média de modo geral de  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , isso se deve ao acréscimo na microporosidade do solo. Verificou-se ainda o predomínio de microporos no solo em relação aos macroporos. Esse resultado pode demonstrar que a utilização mais intensiva ao longo do tempo provoca alterações no solo levando a deficiência de areação que acabam por afetar

o processo de respiração do sistema radicular, e infiltração e drenagem da água no perfil do solo (BEUTLER, 2007).

O valor mínimo de macroporosidade para o processo de trocas gasosas que seja necessária para o desenvolvimento normal das plantas é incerto (LANZANOVA, 2005). No entanto, Greenland (1981) apud Beutler, (2007) descrevem o valor mínimo de  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , de macroporosidade, para que não ocorra restrição à respiração das raízes das plantas em solos agrícolas.

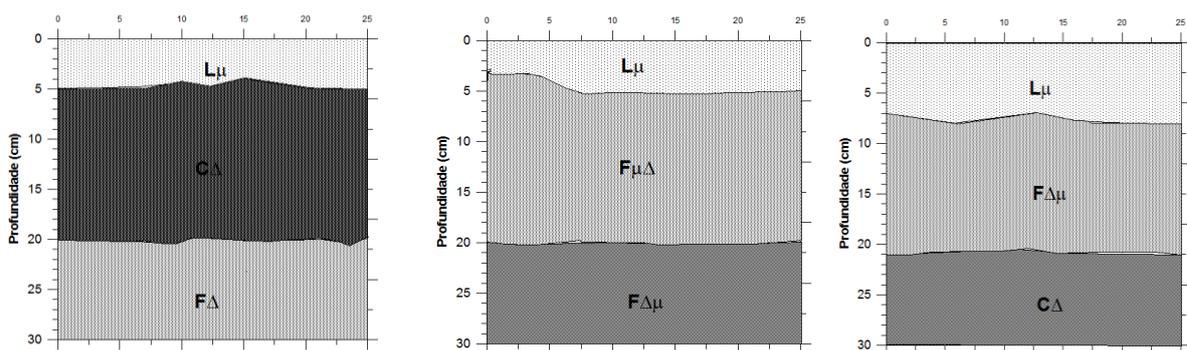
#### 4.3 ANÁLISES DO PERFIL CULTURAL

Conforme Tavares Filho et al. (1999) o Perfil Cultural por se tratar de um método qualitativo possibilita diagnosticar a situação estrutural do solo, servindo de ferramenta para estudo de efeitos da mecanização no meio físico trabalhado. A partir da metodologia de Tavares Filho et al. (1999), todas as propriedades estudadas foram classificadas pela Tabela 1, como solo o modificado pelo manejo (AM). Ao analisar os perfis, fica perceptível as alterações nas características físicas dos solos resultante dos diferentes tipos de mecanização imposta, havendo assim uma diferenciação nos volumes antropizados em maciços (C), livres (L) e fissurais (F), apresentando agregados compactos ( $\Delta$ ) e não compactos ( $\mu$ ). Resultado semelhante ao obtido por Barreiros et al. (2009) em relação para Latossolo Vermelho férrico, sob diferentes sistemas agrícolas (soja/milho, cana-de-açúcar e pastagem), onde também foram identificados volumes antropizados maciços, livres e fissurais, apresentando agregados compactos e não compactados.

Para a propriedade com nível completo de mecanização, por meio da aplicação do método do Perfil Cultural, verificaram-se em todas as glebas, sinais visuais de compactação em menor ou maior nível, conforme a textura do solo, averiguada pela sensação tátil, e pela idade dos alfafais. Tavares Filho et al. (1999) para plantio convencional, ocorre alterações tanto lateral quanto vertical nas propriedades do solo, ocorrendo alterações na densidade, no volume e distribuição de tamanho dos poros em função da ação de escarificadores, subsoladores, arados e grades niveladora.

Enquanto para a parcela de 1 ano (Figura 1), pode-se observar no primeiro ponto da gleba, que o solo apresenta nas profundidades de 0-5 cm um volume de solo solto ( $L\mu$ ) com agregados granulares de tamanhos variados, sem nenhuma

coesão, sendo que nas profundidades inferiores as estruturas apresentavam sinais claros de compactação ( $C_{\Delta}$ ,  $F_{\Delta}$ ) com estrutura contínua composta por torrões predominante poliédricos angulares de face plana e lisa sem poucos visíveis onde conforme Hillel, (1998) apud Mausy et. al (2009) é explicado pois nessas estruturas, a porosidade pode estar comprometida, pois teoricamente formas piramidais apresentam menor porcentagem de poros em relação às cúbicas. na camada de 10-25 cm, bem aderidos entre si, a camada final de 25-30 cm apresentava volume de solo fissurado com presença de torrões aparentemente sem porosidade intra-agregado. No ponto três (Figura 1), da gleba de 1 ano, se observa que a camada inicial (0-5cm), apresentava agregados granulares, de solo solto, sem coesão e com torrões pequenos ( $L_{\mu}$ ). Na profundidade (7-20 cm) foi observado um volume de solo fissurado em processo de compactação com agregados em blocos de tamanhos variados ( $F_{\mu\Delta}$ ). Sendo para a última camada (20 a 30 cm), verificado diferenças em relação a espessura e densidade dos agregados ( $F_{\Delta\mu}$ ), sendo verificado um aspecto de maior compactação. O último ponto (Figura 1) da gleba de um ano, apresentava similaridades ao longo do perfil em relação ao ponto anteriormente descrito (ponto três), apesar de diferenças sutis em termos de profundidade, sendo que a principal diferença foi a presença de um volume de solo solto maior no ponto cinco, onde a camada de solo solto foi superior a 5 cm de profundidade, enquanto no ponto dois (Figura 2) esse valor não ultrapassou a 5 cm.

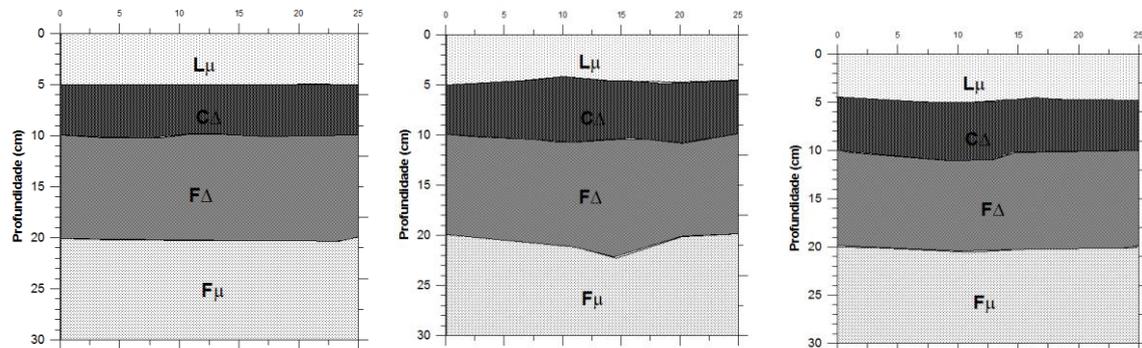


**Figura 1. Perfil Cultural dos pontos um, três e cinco (respectivamente) da gleba de 1 ano, da propriedade com nível completo de mecanização para a alfafa.**

A avaliação do primeiro ponto da gleba de dois anos destacou quatro estados estruturais internos (Figura 2), uma primeira camada de solo solto ( $L_{\mu}$ ) seguida de uma camada de solo contínua com agregados em formato poliédrico angular, de face lisa, com solo compactado ( $C_{\Delta}$ ) nas profundidades de 5 a 10 cm. Enquanto os

dois últimos volumes de solos apresentavam, características de solo fissurado ( $F\Delta$ ), com torrões de tamanhos variados sem estados diferentes de compactação.

Os outros dois pontos da propriedade com nível completo de mecanização, apresentaram comportamento forma análoga as características que do primeiro ponto da gleba de 2 anos (Figura 2)

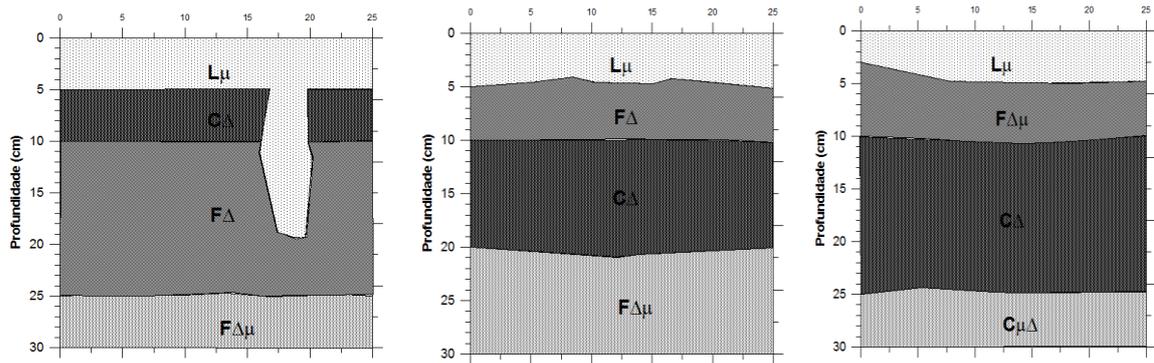


**Figura 2. Perfil Cultural do solo dos pontos um, dois e quatro da gleba de 2 anos, para propriedade com nível completo de mecanização para alfafa.**

A descrição do Perfil Cultural da gleba de seis anos mostrou ocorrência de camadas de compactação nos três pontos avaliados, sendo que no primeiro ponto da gleba (Figura 3) na profundidade de 0-5 cm, se observou um volume de solo solto ( $L\mu$ ), esse comportamento foi observado até a profundidade de 20 cm em uma pequena faixa horizontal até a profundidade de 20 cm (Figura 8).

Para as profundidades inferiores (10 a 20 e 20 a 30 cm), as estruturas apresentavam sinais claros de compactação (C e F) com estrutura continua composta por torrões, predominantes poliédricos angulares, de face plana e lisa, bem aderida entre si. A camada de 5-10 cm e 25-30 cm apresentava como característica um volume de solo fissurado, com presença de torrões e aparentemente sem porosidade intra- agregado.

Nos pontos quatro e cinco (Figura 3), observaram-se nas camadas 10 e 20 cm, volume de solo continuo ( $C\Delta$ ), apresentando agregados poliédricos angulares de face plana e lisa, volume de solo .

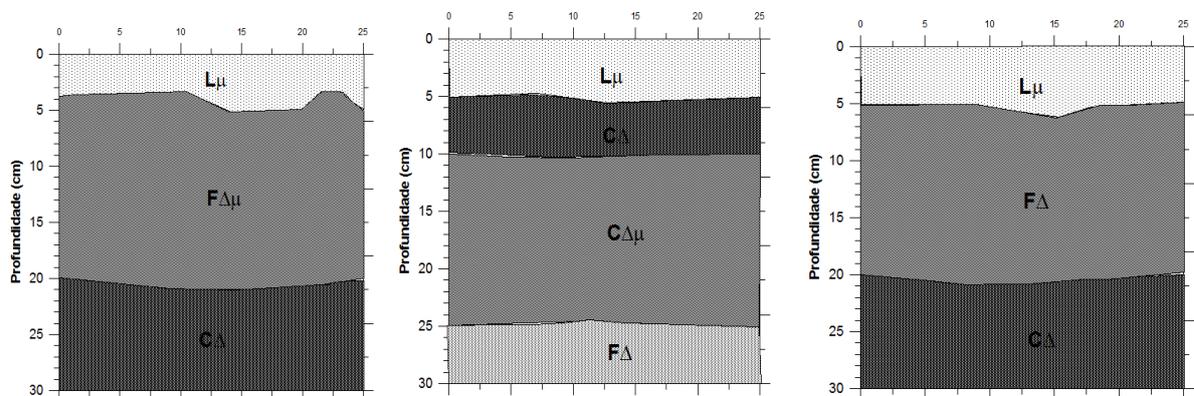


**Figura 3. Perfil Cultural do solo dos pontos um, quatro e cinco (respectivamente) da gleba de 6 anos, para a propriedade com nível completo de mecanização para a alfafa.**

Para a gleba de 7 anos, no ponto um (Figura 4), foi observada que o modo de organização do perfil, bem como o estado interno dos torrões para a camada de 0- 5 cm apresentaram agregados granulares ( $L_{\mu}$ ), seguidos por camadas compactadas, presentes no volume de solo mobilizado ( $F_{\Delta}$ ,  $C_{\Delta}$ ).

No ponto dois (Figura 4) as camadas de 5-10 e 10-25 cm apresentaram volumes de solo compactados, com agregados maciços bem densos, de superfície lustrosa ( $C_{\Delta}$ ), enquanto a última camada identificada de 25-30 cm apresentava agregados pequenos sem poros, dispostos no volume fissurado compactado ( $F_{\Delta}$ ).

Para o ponto cinco a abertura da trincheira permitiu definir a camada inicial de 0-5 cm como sendo de solo solto ( $L_{\mu}$ ) seguido por uma camada de solos compactada distribuída em um volume de solo fissurado compactado ( $F_{\Delta}$ ) na profundidade de 5 a 20 cm, na última camada a diferença ficou na caracterização do volume do solo, (continua com mesmas características de compactação ( $C_{\Delta}$ )).



**Figura 4. Perfil Cultural do solo dos pontos um, dois e cinco (respectivamente) da gleba de 7 anos, para a propriedade com nível completo de mecanização para a alfafa.**

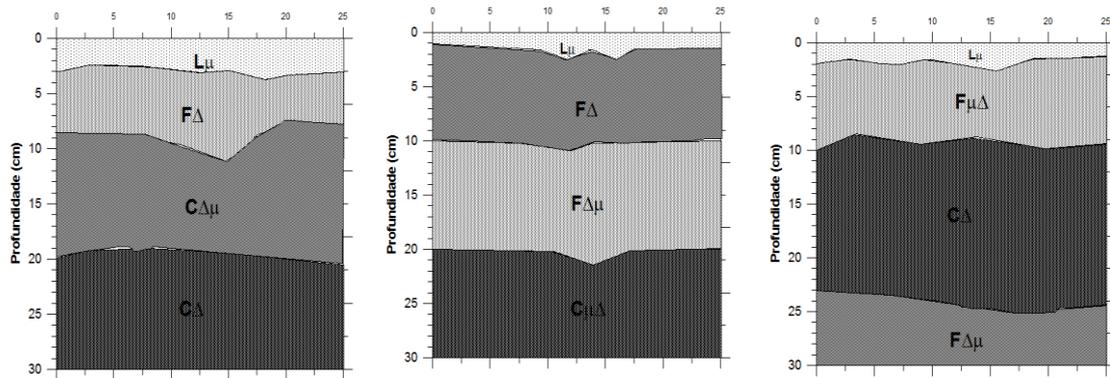
Essas características observadas na análise visual da estrutura e agregados ao longo de todos os pontos avaliados (Figura 1 a 4), provavelmente se devem a fatores como preparo inicial do solo com aração, bem como ao tráfego de máquinas por ocasião de corte, revolvimento e enleiramento e coleta, em condições de umidade inadequadas para o manejo, ao longo dos anos de cultivo das áreas.

A aplicação do método do Perfil Cultural na propriedade com mecanização incompleta para a coleta da alfafa no campo permitiu observar que o solo apresentava estruturas que tendem a compactação ( $F_{\Delta\mu}$ ,  $C_{\Delta\mu}$ ), sendo predominante a presença de estruturas bem compactadas ( $F_{\Delta}$ ,  $C_{\Delta}$ ), em ambas as glebas avaliadas (dois e quatro anos).

Na gleba de dois anos, para o primeiro ponto (Figura 5), pode-se observar que o solo apresenta nas profundidades de 0-3 cm, um pequeno volume de solo solto ( $L_{\mu}$ ), sendo que em profundidades de 3 a 10 cm as estruturas apresentavam aspectos visuais de compactação ( $F_{\Delta}$ ,  $C_{\Delta}$ ), com volume de solo fissurado. presença de torrões aparentemente sem porosidade intra- agregado. E estrutura contínua, representada por torrões predominante poliédricos angulares, nas camadas de 20 a 30 cm.

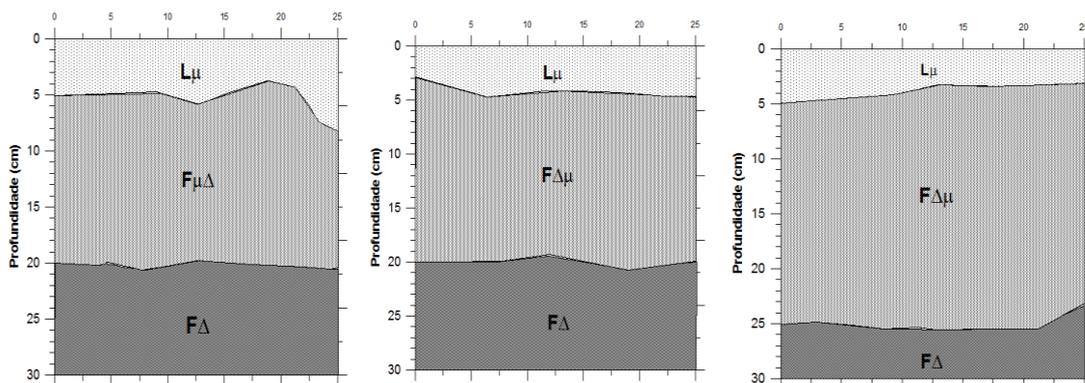
No ponto três (Figura 5) os aspectos qualitativos também descrevem um perfil de solo compactado ao longo da distância horizontal e vertical, com destaque a última camada com agregados, sem poros distribuídos em um volume de solo contínuo (C).

No ponto quatro (Figura 5) o volume de solo solto chegou até os 5 cm de profundidade, seguido de uma camada solo fissurado bastante compactado. Na camada intermediária de 10 a 25 cm, as características visuais também apresentavam traços de compactação, com volume de solo maciço e estruturas poliédricas angulares, de superfície lisa ( $C_{\Delta}$ ). O volume de solo da camada de 25 a 30 cm apresentava-se agregados com poucos poros e fissurais visíveis.



**Figura 5. Perfil Cultural do solo dos pontos um, três e quatro (respectivamente) da gleba de 2 anos, para propriedade com nível de mecanização incompleto para coleta da alfafa.**

Para gleba de 4 anos (Figura 6) os aspectos visuais observados, descrevem de mesma forma que a gleba anterior (Figura 5), característica de um solo compactado ao longo de todo perfil, sendo esse fator mais pronunciado nas camadas de 5 a 10 e 10 a 25 cm.

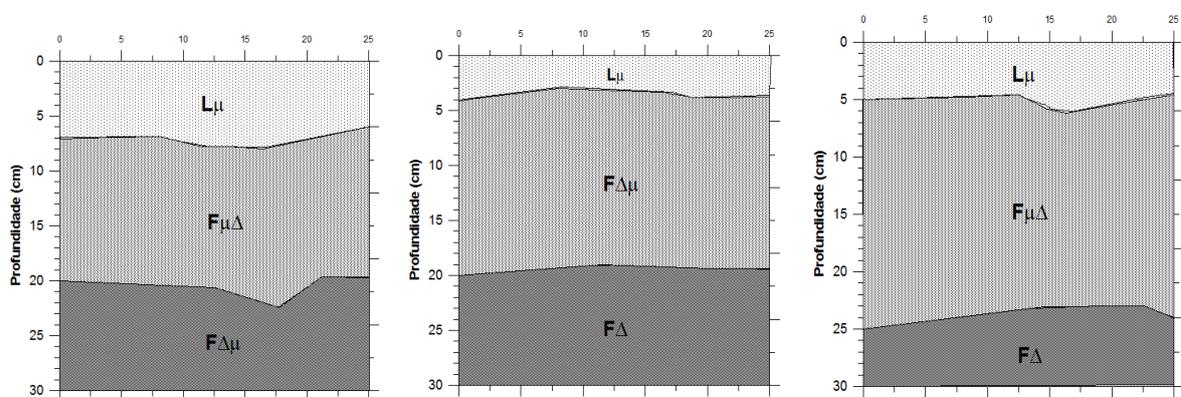


**Figura 6. Perfil Cultural do solo dos pontos um, três e quatro (respectivamente) da gleba de 4 anos, para propriedade com nível de mecanização incompleto para coleta da alfafa.**

Para a propriedade com nível de mecanização incompleta para o revolvimento e enleiramento (Figura 7), a análise do Perfil Cultural no ponto dois apresentou para a camada de 0 a 7 cm solo solto em forma de agregados granulares (L). De 7 a 20 cm a estrutura do solo formada por agregados em forma de blocos, de tamanho médio, com volume de solo fissurado e tendência a compactação com poucos poros visíveis (FμΔ), enquanto que a camada de 20 a 30 cm apresentava blocos de menor tamanho e com presença de alguns poros visíveis (FΔμ).

No ponto três foi observada a presença de agregados de tamanho médio, com uma boa presença de poros aparentes, com agregados fáceis de remover dispostos no perfil em um volume de solo fissurado (F).

No ponto cinco se observa que a estrutura do solo na camada superficial de 5 a 10 cm apresentava agregados em blocos grandes e médios, com poros visíveis ( $F_{\mu}$ ), seguido de duas camadas de solo mais adensadas, distinguindo-se entre as duas apenas pela presença de poros mais visíveis na camada de 10-25 cm, sendo em ambos casos apresentados agregados em blocos pequenos disposto em um volume de solo fissurado.



**Figura 7. Perfil Cultural do solo dos pontos, dois, três e cinco (respectivamente) da gleba de 3 anos, da propriedade com nível incompleto para revolvimento e enleiramento da alfafa.**

Observou-se, a partir do método do Perfil Cultural, que a compactação estava presente, principalmente na forma de estruturas do tipo  $F_{\Delta}$  e  $C_{\Delta}$  praticamente em todo os perfis e glebas nos 3 tipos distintos de propriedade estudada conforme o nível de mecanização. As análises de densidade e porosidade nessas áreas deram suporte ao estudo qualitativo, pois descrevem solos com densidades muitas vezes elevadas para texturas encontradas no estudo, bem como a presença de pouca porosidade ao longo do perfil, caracterizando áreas de produção com solos compactados.

Na avaliação do modo de organização dos volumes de solo encontrados na descrição do Perfil Cultural sob cultivo da alfafa, verificou-se, na profundidade entre 0 e 5 cm, estruturas com agregados granulares, distribuído sobre um volume de solo solto essa característica se repetiram de modo geral em todas as glebas para todos os níveis de mecanização. O volume de solo contínuo e fissurado com estado interno dos torrões em processo de compactação, ( $F_{\Delta\mu}$ ,  $C_{\Delta\mu}$ ), foi o estado estrutural

do solo mais observado entre todas as glebas nos distintos níveis de mecanização estudado. Para as áreas com mecanização completa e incompleta para a coleta nas camadas de. Já o estado estrutural altamente compactado a variação não foi tão ampla, ficando principalmente localizado nas camadas intermediárias de 5 a 20 cm nas glebas um, dois e seis anos da propriedade com nível de mecanização completa e nas camadas de 20 a 30 cm para a gleba 7 anos da mesma propriedade e na gleba de dois anos para propriedade com mecanização incompleta para o coleta.

Para a propriedade com mecanização incompleta para o enleiramento a característica dominante foi a presença de volume fissurado ao longo de todo o perfil em maior e menor grau de compactação.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo observou que de modo geral o impacto do manejo da cultura do solo afeta de modo grave as propriedades físicas do solo, visto os elevados valores de densidade observado em especial para os solos argilosos, sendo também a macroporosidade outra propriedade bastante afetada pelo processo de produção da cultura, principalmente nas propriedades com mecanização completa e incompleta para coleta. É também observada a relação entre a idade e aumento da densidade do solo, quando comparado às glebas de mesmas classes textural, sendo dissolvida essa relação quando analisado sobre o aspecto nível de mecanização, onde glebas de mesma classe textural, com mecanização diferenciada, apresentação dissociação de valores de densidade bem como os demais parâmetros avaliados.

As propriedades com níveis de mecanização completa e incompleta para o recolhimento foram as que apresentaram os piores índices dentro dos parâmetros estudados em muitos casos ultrapassando o limite crítico para cada fator. Dentre as propriedades analisadas, constatou-se que a propriedade de mecanização incompleta para o revolvimento e enleiramento foi que apresentou mais próximas dos valores ideais de densidade e porosidade, bem como grau de compactação apesar de apresentar tendência à compactação, a partir dos dez centímetros de profundidade. Possivelmente a atividade mecanizada que cause maior impacto no solo seja o processo de revolvimento e enleiramento da alfafa, visto o processo que demanda mais horas do maquinário na lavoura, com maior número de passadas sobre a área.

O estudo sobre a qualidade física do solo sob cultivo de alfafa, deve ser estimulado, buscando identificar quais são os parâmetros que se apresentam como principais limitantes à expressão do potencial produtivo e longevidade da cultura, bem como, avaliar quais são as práticas de manejo que podem mitigar o impacto do manejo em longo prazo. Para futuros trabalhos, sugere-se que sejam incluídas avaliações do número de passadas do maquinário no solo ou horas de atividade na área, avaliações da resistência de penetração da raiz no solo como forma de completar o estudo de densidade e compactação do solo, bem como acompanhar a umidade do solo no momento do manejo. O Conhecimento obtido a partir do diagnóstico permite a aplicação de um manejo específico nos locais críticos de

compactação na lavoura de alfafa, considerando apenas a área afetada, o que poderia diminuir custos de operações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, R. L. **Avaliação dos atributos físicos e da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa.** 2002. 141 f. Tese (Doutorado)- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Botucatu, 2002. 141p.
- BARREIROS, A. M. et al. **A metodologia do perfil cultural aplicado a um latossolo vermelho férrico, no município de Maracaí – SP.** VI EPCC. Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar 27 a 30 de outubro de 2009
- BEUTLER et al. **Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo vermelho cultivado com soja.** R. Bras. Ci. Solo, 31:1223-1232, 2007.
- BICALHO, Ingrid Mara. **Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo.** Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.
- CAMARGO, Otávio Antonio & ALLEONI, Luis Reynaldo F. **Conceitos Gerais de Compactação do Solo.** Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/compsolo/comp1.htm>>. Acesso em: 14 mar 2015.
- DE BATTISTA, J. J.; ANDRIUJO, A.; PECORARI, C. **El Perfil Cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo.** *Ciencia del Suelo*. Vol. 10-11. 1993.
- DUIKER, Sjoerd W. **Effects of Soil Compaction.** Disponível em: <<http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/soil-compaction/effects-of-soil-compaction>>. Acesso em: 1 mar 2015
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 f.
- EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. **Cultivo da alfafa.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Alfafa/SistemaProducaoAlfafa/solos.htm>> acesso em: 28 fev 2015.
- GAUTRONNEAU, Y. & MANICHON, H. **Guideméthodiqueduprofil cultural.** Lyon, CEREF-GEARA, 1987. 71p.
- KLEIN, Vilson Antonio. **Física do solo.** - 2. ed.- Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.
- J. TAVARES FILHO et al. **Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais.** R. Bras. Ci. Solo, 23:393-399, 1999.
- LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária.** 2005. 132f. Dissertação (Mestrado

em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

LINSTRON, M. J.; Voorhees, W .B. **Responses of temperate crops in North America to soil compaction**. In: Soane, B. D., vanOuwkerk, C. Soil compaction in crop production. Amster-dam: Elsevier, 1994. p.265-86.

MANICHON, H.; GAUTRONNEAU, Y. **Guia metódica del Perfil Cultural**.La Paz: IBTA/ORSTOM, 1996.

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

MARQUES,F. et al. **Importância da alfafa**. VI SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS DA UNESP – DRACENA VII ENCONTRO DE ZOOTECNIA – UNESP DRACENA. DRACENA,2010

MAUSY, M. M. D. et al. **Estrutura de um Nitossolo vermelho latossólico eutroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e floresta**. R. Bras. Ci. Solo, 33:1517-1524, 2009

MICHELON et al. **Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.1, p.39–45, 2009 Campina Grande, PB;

MITTELMANN, Andréa.**Tecnologias para a produção de alfafa no Rio Grande do Sul** / Editado por Andréa Mittelmann, Francisco José da Silva Léo. — Pelotas: Embrapa ClimaTemperado; Juiz de Fora:Embrapa Gado de Leite, 2008.70 p.

ORTIGARA et al.. **Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo vermelho**.R. Bras. Ci. Solo, 38:619-626, 2014

PEREIRA NETO, O.C. et al. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.489-496, 2007.

PRAGANA, Rossanna Barbosa et al. **Efeito do plantio direto sobre a resistência à penetração de Latossolos Amarelos na região do cerrado piuiense**. XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Minas Gerais. 2011.

REZENDE, J.O. **Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

REICHERT, José Miguel et al. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Ciência & Ambiente,27p. 2003

REICHERT, José Miguel et al. **Fundamentos da ciência do solo**. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais Departamento de Solos. 2007

RIBEIRO, K. D. et al. **Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007

RICHART, A. et al. **Compactação do solo: causas e efeitos.** Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005

SILVA. C. J. **Densidade do solo: princípios e métodos.** Disponível em: <<http://www.cafw.ufsm.br/mostraciencias/2011/resumos/116.pdf>> Acesso em: 31 mar 2015.

SILVA et al. **Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, v.30, n 5, p.795-801, 2000.

SILVEIRA NETO et al. **Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo.** Pesquisa Agropecuária Tropical, 36 (1): 29-35, 2006.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 15:229-235, 1991.

STRECK et al. **Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto.** Ciência Rural, v.34, n.3, mai-jun, 2004

SUZUKI, Luiz Eduardo Akiyoshi Sanches. **Compactação do solo e sua influencia nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas.** Santa Maria, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S.et al. **Grau de compactação e rendimento de culturas.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago. 2007

TAVARES FILHO, J. et al . **Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 393-399, jun. 1999.

TEIXEIRA. J. C. **Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais.** Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas. Três Lagoas-MS, V 2 – n.º 2 – ano 2, Setembro de 2005.

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

