

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA
VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MATÉRIA ORGÂNICA E PROPRIEDADES FÍSICAS
DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**

FLÁVIA LEVINSKI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, dezembro de 2014

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA
VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MATÉRIA ORGÂNICA E PROPRIEDADES FÍSICAS
DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**

FLÁVIA LEVINSKI

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, dezembro de 2014.



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

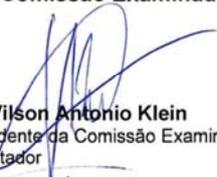
“Matéria orgânica e propriedades físicas de um latossolo vermelho em sistema de
integração lavoura-pecuária-floresta”

Elaborada por

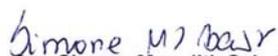
Flávia Levinski

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestra em
Agronomia – Produção Vegetal

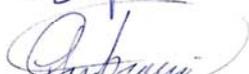
Aprovada em: 19/12/2014
Pela Comissão Examinadora



Dr. Wilson Antonio Klein
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador



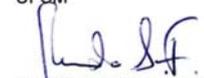
Dra. Simone Meredith Scheffer Basso
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia



Dr. Paulo Ivonir Gubiani
UFSM



Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV



Dr. Renato Serena Fontaneli
FAMV-UPF

CIP – Catalogação na Publicação

L665m Levinski, Flávia

Matéria orgânica e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta / Flávia Levinski. – 2014.

127 f. : il., color. ; 25 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein.

1. Latossolos. 2. Solos - Composição. 3. Solos vermelhos. 4. Solos – Composição. I. Klein, Vilson Antonio, orientador. II. Título.

CDU: 631.4

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein.

1. Latossolos. 2. Solos - Composição. 3. Solos vermelhos. 4. Solos – Composição. I. Klein, Vilson Antonio, orientador. II. Título.

CDU: 631.4

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, pela força e proteção durante esses dois anos de idas e vindas.

Aos meus pais, Flavio Levinski e Neiva Dalpissol Levinski, por todos os ensinamentos, pelo amor e carinho, pela dedicação, compreensão e apoio aos estudos.

À minha irmã Neila e meu cunhado Jelison, por assumirem as tarefas que eram incumbidas a mim e pela dedicação e compreensão nas idas e vindas a minha espera na rodoviária de Xanxerê. À minha sobrinha, Eduarda, por estar me esperando de braços abertos e curiosa em saber quando eu voltaria.

Ao meu namorado, Lucas F. Huf, pelo amor, carinho, pela compreensão, pelo apoio e incentivo para a conclusão desse curso.

Ao meu orientador, Vilson Antonio Klein, por ter me acolhido de braços abertos, pela confiança, pelo incentivo e os conhecimentos compartilhados além da agronomia, tornando-se um amigo.

À Universidade de Passo Fundo e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos conhecimentos e momentos agradáveis

compartilhados, e aos funcionários da FAMV por proporcionarem uma convivência agradável.

Aos colegas do Laboratório de Física e Água do Solo, pelo apoio, dedicação e momentos de descontração e, ao colega Delcio, pelo auxílio e discussões a respeito de trabalhos e da dissertação.

À colega Claudia Klein, por compartilhar seu conhecimento, pelas conversas, pelos momentos de descontração, pelas caronas nas idas e vindas de Passo Fundo e, principalmente, por tornar-se uma grande amiga.

À colega Crislaine Sartori Suzana, por ter se tornado a minha família em Passo Fundo, pela convivência em harmonia, pelas conversas, pelas discussões a respeito de trabalhos e pelos momentos de alegrias.

Aos colegas de pós-graduação, pela convivência, em especial, Miria Durigon e Valdéria Biazus, por sempre estarem presente nos estudos e proporcionando momentos de descontração.

Aos proprietários da Fazenda Tropeiro Campones, pela disponibilização da área sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e, a Emater por fornecer informações e permitir a realização desse estudo nessa que está sob sua supervisão.

Enfim, a todos que, de alguma forma, participaram e auxiliaram nessa jornada. Meu Muito Obrigado!

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 19 |
| 2.1 Sistema de integração Lavoura–Pecuária–Floresta | 19 |
| 2.2 Qualidade do solo | 21 |
| 2.3 Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo | 23 |
| 2.3.1 Textura do solo | 23 |
| 2.3.2 Matéria Orgânica | 24 |
| 2.3.3 Argila dispersa em água e índice de floculação..... | 26 |
| 2.3.4 Densidade dos sólidos do solo..... | 27 |
| 2.3.5 Densidade do solo..... | 28 |
| 2.3.6 Compactação do solo..... | 30 |
| 2.3.7 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros | 33 |
| 2.3.8 Resistência mecânica do solo à penetração | 34 |
| 2.3.9 Consistência do solo | 36 |
| 2.3.10 Estabilidade dos agregados..... | 38 |
| 2.3.11 Água no solo | 40 |
| 2.3.12 Retenção de água no solo | 41 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 43 |
| 3.1 Local, clima e solo | 43 |
| 3.2 Histórico da área | 44 |
| 3.3 Delineamento experimental | 46 |
| 3.4 Coleta das amostras | 46 |
| 3.5 Análises físico-hídrico-mecânicas do solo | 48 |
| 3.5.1 Textura do solo | 48 |
| 3.5.2 Matéria Orgânica | 49 |
| 3.5.3 Argila dispersa em água e índice de floculação..... | 50 |
| 3.5.4 Densidade dos sólidos do solo..... | 50 |
| 3.5.5 Densidade do solo..... | 51 |
| 3.5.6 Compactação do solo..... | 52 |
| 3.5.7 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros | 53 |
| 3.5.8 Resistência mecânica do solo à penetração | 54 |
| 3.5.9 Consistência do solo | 55 |
| 3.5.10 Estabilidade dos agregados..... | 57 |
| 3.5.11 Água no solo | 58 |

| | Página |
|---|---------------|
| 3.5.12 Curva de retenção de água no solo | 59 |
| 3.5.13 Análise estatística | 60 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 61 |
| 4.1 Textura do solo | 61 |
| 4.2 Matéria orgânica | 63 |
| 4.3 Argila dispersa em água e índice de floculação..... | 65 |
| 4.4 Densidade dos sólidos do solo..... | 67 |
| 4.5 Densidade do solo..... | 68 |
| 4.6 Densidade máxima do solo e umidade ótima de compactação. | 71 |
| 4.7 Densidade relativa | 73 |
| 4.8 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros | 75 |
| 4.9 Resistência mecânica do solo à penetração | 82 |
| 4.10 Consistência do solo | 86 |
| 4.10.1 Relação UOC/Teor de água no LP | 90 |
| 4.10.2 Relação do teor de água no LL / teor de água na CC | 95 |
| 4.11 Estabilidade dos agregados do solo | 98 |
| 4.12 Água no solo | 107 |
| 4.13 Retenção de água no solo | 113 |
| 5 CONCLUSÕES | 116 |
| 6 REFERÊNCIAS | 117 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Teores de argila, silte e areia total (AT), areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), e areia muito fina (AMF) em sistema de ILPF, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 62 |
| 2 | Densidade máxima do solo (D _{máx}) e umidade ótima de compactação (UOC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 72 |
| 3 | Resistência mecânica à penetração das raízes na capacidade de campo (CC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 84 |
| 4 | Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 99 |
| 5 | Índice de estabilidade dos agregados em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 102 |

| Tabela | | Página |
|---------------|--|---------------|
| 6 | Armazenagem (hL) e variação de armazenagem (ΔhL) de água no solo nas datas de 27/03, 07/04 e 23/05/2014 em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas amostradas. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 112 |
| 7 | Parâmetros do ajuste dos pontos da curva de retenção de água no solo pela soma dos desvios dos quadrados mínimos em equação no Excel. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 114 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|---------------|--|---------------|
| 1 | Área experimental na unidade de referência tecnológica de integração lavoura-pecuária-floresta, Passo Fundo (RS), 2014..... | 44 |
| 2 | Plantio (A) e acomodação (B) das mudas de eucalipto na linha de plantio após descompactação do solo, Passo Fundo (RS) novembro de 2008..... | 45 |
| 3 | Coletada de amostras de solo com estrutura preservada (A) e deformada (B), Passo Fundo (RS), 2014..... | 47 |
| 4 | Precipitação média (mm) em Passo Fundo durante o período de coleta das amostras de umidade do solo, dias 27/03, 07/04 e 23/05/2014, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 48 |
| 5 | Matéria orgânica em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 64 |
| 6 | Teor de argila dispersa (ADA) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 66 |
| 7 | Índice de floculação (IF) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 67 |
| 8 | Densidade dos sólidos do solo (Dss) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 68 |

| Tabela | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 9 | Densidade do solo (Ds) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 70 |
| 10 | Densidade relativa do solo (DR) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 74 |
| 11 | Densidade relativa do solo (DR) em sistema ILPF, nos componentes floresta e lavoura e na camada de solo amostrada, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 75 |
| 12 | Porosidade total (Pt) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 76 |
| 13 | Macroporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 78 |
| 14 | Microporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 80 |
| 15 | Criptoporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 82 |
| 16 | Resistência mecânica a penetração no PMP em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 85 |

| Tabela | | Página |
|---------------|--|---------------|
| 17 | Teor de água no limite plástico (LP) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 87 |
| 18 | Teor de água no limite líquido (LL) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 88 |
| 19 | Índice de plasticidade em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 89 |
| 20 | Relação da umidade ótima de compactação e do limite plástico (Relação UOC/LP) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 91 |
| 21 | Umidade ótima de compactação (UOC) e umidade do solo no limite plástico (LP) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (A) e lavoura (B) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 94 |
| 22 | Relação do teor de água no limite líquido e teor de água na capacidade de campo (Relação LL/CC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (A) e lavoura (B) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 96 |

| Tabela | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 23 | Teor de água no solono limite líquido (LL) e na capacidade de campo (CC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (A) e lavoura (B) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 97 |
| 24 | Porcentagem de agregados retidos nas diferentes peneiras nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL), FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 104 |
| 25 | Porcentagem de agregados retidos nas diferentes peneiras nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 105 |
| 26 | Teor de água no solo nas datas de 27/03 (A), 07/04 (B) e 23/05/2014 (C) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 108 |
| 27 | Teor de água no solo nos componentes floresta (A) e lavoura (B) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nas datas de 27/03, 07/04 e 23/05/2014, na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PMP) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 111 |
| 28 | Curva de retenção de água no solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014..... | 115 |

**MATÉRIA ORGÂNICA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**

FLÁVIA LEVINSKI¹

RESUMO – A agricultura ao longo dos anos está em processo de intensificação para atender as necessidades da sociedade em meio à escassez de recursos hídricos e ameaça de mudanças climáticas, acarretando em degradação do solo e da água. O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (SILPF) é uma alternativa entre os modelos de sistemas produtivos existentes, para intensificação no uso da terra, diversificação de atividades, gerando ganho econômico e com sustentabilidade. Entretanto, as avaliações realizadas no sistema em sua maior parte são de natureza econômica, carecendo informações sobre alterações causadas nas propriedades do solo. Em busca de manter os solos agrícolas com um ambiente químico, físico e biológico favorável ao desenvolvimento das plantas, para sustentar a sua produção, esse trabalho teve o objetivo de avaliar o teor de matéria orgânica e as propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Vermelho entre os componentes floresta e lavoura em sistema de ILPF. O experimento foi instalado na Unidade de Referência Tecnológica (URT) ILPF instalada pela Emater-RS/Embrapa-Trigo no Distrito do Pulador, Passo Fundo. As variáveis analisadas foram: matéria orgânica, argila dispersa em água, índice de

¹ Eng.- Agr., mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

floculação, densidade do solo e dos sólidos do solo, densidade relativa, distribuição do volume dos poros, resistência mecânica à penetração, limites de consistência do solo, estabilidade dos agregados, armazenagem e retenção de água no solo. Conclui-se que a presença do componente floresta no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta melhora parcialmente as propriedades físico-hídrico-mecânicas do Latossolo Vermelho após cinco anos de implantação, alterando de forma positiva os limites de consistência e a estabilidade dos agregados e; de forma negativa a resistência mecânica à penetração (RP), a relação entre a umidade ótima de compactação e o limite plástico, a relação entre o limite líquido e a capacidade de campo e, a água no solo (períodos secos).

Palavras-chaves: Sistemas de produção, estrutura do solo, consistência do solo, dinâmica da água no solo.

ORGANIC MATTER AND PROPERTIES PHYSICAL OF SOIL OF AN OXISOL RED IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK- FOREST SYSTEM

ABSTRACT – The agriculture over the years is in intensification process to meet the needs of society in the midst of water shortages and the threat of climate change, resulting in soil and water degradation. The integration crop-livestock-forest system (ICLFS) is an alternative between models of existing production systems, to intensification land use, diversification of activities, generating

economic gain and with sustainability. However, the evaluations carried out in the system in the most part are of economic nature, missing information about caused changes on the soil properties. Seeking to maintain the agricultural soils with a chemical environment, physical and biological favorable for plant growth, to support its production; this study aims was to evaluate the content of organic matter and the physical-hydric-mechanical properties of an Oxisol Red between forest and crop components in integration crop-livestock-forest system. The experiment was conducted in the Technology Reference Unit (URT) ICLF installed by Emater-RS/Embrapa-Trigo in District Pulador, Passo Fundo. The variables analyzed were: organic matter, water dispersible clay, flocculation index, bulk density and soil solids, relative density, pore volume distribution, penetration resistance, soil consistency limits, aggregate stability, storage and water retention in the soil. Conclude that the presence of the forest component in crop-livestock-forest integration system partially improves the physical-hydric-mechanical properties of an Oxisol Red after five years of implantation, changing positively the limits of consistency and stability of aggregates and; negatively the penetration mechanical resistance, the relationship between the optimum moisture content of compaction and the plastic limit, the relationship between the liquid limit and the field capacity and; the water in the soil (dry periods).

Key words: Production systems, soil structure, soil consistency, soil water dynamics.

1 INTRODUÇÃO

A busca por sistemas de produção sustentáveis e equilibrados fez ressurgir o sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), praticado na Europa antiga pelos romanos. Esse sistema propõe intensificação no uso do solo, diversidade de atividades, gerando ganho econômico e sustentável e tem como objetivo integrar em uma mesma área as atividades de lavoura, pecuária e floresta, visando à continuidade de produção de alimentos na propriedade e maximização da produtividade ao longo dos anos.

No Brasil há vasta extensão de áreas degradadas ou em processo de degradação, quais podem ser recuperadas com a adoção da ILPF com uso de diversas culturas conforme a região. O sistema de integração é complexo no âmbito de manejo, porém, é de simples implantação se planejado corretamente. Para sua implantação é necessário avaliar as propriedades físicas e químicas do solo para adequada correção da área, bem como, planejamento de culturas e espécies a serem utilizadas na integração, dependentes do objetivo do produtor rural e do retorno econômico.

Os sistemas de produção sob ações antrópicas exercem grande influência sobre o solo e sua capacidade de resiliência, pelo fato desse ser um sistema complexo que funciona retendo e transmitindo água, ar e nutrientes às plantas, por isso, é essencial manter condições biológicas, químicas e físicas favoráveis ao crescimento das plantas, para manter a sua produção. Nesse contexto,

o sistema de ILPF é apresentado como um sistema capaz de conservar o solo e a água, gerando ganhos econômicos com sustentabilidade.

Todavia, nem todos os modelos de ILPF que estão sendo implantados, seguem o condicionamento correto da área, com diagnóstico e planejamento das necessidades físico, química e biológica do solo, bem como, de execução do sistema em caráter conservacionista do solo e da água. Na maioria das situações, após a implantação as avaliações realizadas são de viés econômico e das propriedades químicas do solo, necessitando de estudos do efeito dessa integração nas propriedades físicas do solo.

Quantificar as alterações nas propriedades físico-hídrico-mecânicas nos dois componentes (floresta e lavoura) em um Latossolo Vermelho do RS em ILPF é de grande relevância científica visando contribuir para a busca de manejos e sistemas de produção cada vez mais sustentáveis e equilibrados.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o teor de matéria orgânica e as propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Vermelho entre os componentes floresta e lavoura em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, sustentando a hipótese de que o componente floresta no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta melhora as propriedades do solo em relação ao componente lavoura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de integração Lavoura–Pecuária–Floresta

A agricultura, ao longo dos anos, sofreu processo de intensificação para atender as necessidades da sociedade em alimentos, rações e fibras, elevando a produtividade das culturas em sistemas de monocultivo, acarretando na maioria das vezes em degradação do solo e escassez da água, afirma a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (2013). Há necessidade do uso de sistemas de cultivos com intensificação sustentável, agroecossistemas, para atingir o aumento de 70% da produção agrícola mundial até 2050 e alimentar 9,2 bilhões de pessoas, em meio à escassez de recursos hídricos e energéticos e a ameaça da mudança climática (FAO, 2014). Os agroecossistemas caracterizam-se pela gestão dos recursos ambientais; um conjunto entre princípios ambientais, econômicos e sociais, referindo-se a uma agricultura conservacionista.

Uma das alternativas de uso é o sistema ILPF, que visa à produção sustentável integrando atividades agrícolas, pecuárias e florestais praticadas na mesma área, na forma de cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos dos componentes do agroecossistema, abrangendo a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO et al., 2011a).

O sistema ILPF é imposto como um favorecedor da recuperação de áreas degradadas, da manutenção e do restabelecimento da cobertura florestal, da adoção de boas práticas agropecuárias, da geração de emprego e renda, da melhoria das condições sociais e ambientais, adequando a unidade produtiva à legislação ambiental e prestação de serviços ambientais em relação: a conservação de recursos hídricos e edáficos; redução de gases de efeito estufa; fixação de carbono; abrigo para agentes polinizadores e de controle natural de pragas e doenças; biorremediação do solo e reciclagem de nutrientes (ALVARENGA et al., 2010; BALBINO et al., 2011a).

Desde o Protocolo de Kyoto o uso de sistema ILPF é discutido no mundo na busca de mecanismos que gerem retorno econômico e serviços ambientais para a sociedade, enfatizando a necessidade do sequestro de carbono, do enriquecimento do solo, da conservação da biodiversidade, do ar e da água (NAIR et al., 2009). A inclusão de árvores no sistema de produção acarreta em aumento do sequestro de carbono pela maior concentração do estoque do mesmo no solo, mantendo a biodiversidade biológica e a fertilidade do solo. Em relação à conservação do ar e da água, as árvores no sistema absorveriam dióxido de carbono e liberariam oxigênio; e proporcionariam maior infiltração de água e retenção de nutrientes (JOSE, 2009).

No Brasil, a evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de ILPF estão em crescimento como alternativa para reverter os processos de degradação de pastagens, devido ao uso e manejo do

solo de forma inadequada tanto na pecuária de leite quanto de corte (BALBINO et al., 2011b). Além disso, existe a urgência em cessar o desmatamento de florestas naturais nos Biomas brasileiros, bem como, colaborar para diminuir a pressão de oferta dos produtos madeiráveis para as indústrias, devido à restrição da retirada de madeira dessas (DIAS-FILHO & FERREIRA, 2008).

O sistema ILPF está sendo avaliado em todos os Biomas brasileiros, como por exemplo, no Bioma Pampa, Rio Grande do Sul, a introdução de espécies arbóreas visa conter o fluxo de areia e a degradação de campos nativos, recuperando-os sob sistema silvipastoril (VARELLA et al., 2008). Os agricultores dessa região buscam alternativas para controlar a ação do vento e de chuva torrencial, aderindo ao sistema silvipastoril com o manejo de espécies forrageiras para cobertura do solo (RIBEIRO; VERDUM, 2013). Em Minas Gerais, Ribeiro et al. (2007) relataram abatimento de 78,52% da erosão do solo com adoção do sistema ILPF, avaliando em conjunto a implantação do “Programa Produtor de Água”, o que contribuiria para o recebimento de uma renda extra.

2.2 Qualidade do solo

O tema qualidade do solo preocupa vários pesquisadores há alguns anos, que procuram identificar os indicadores que possam ser definidos em valores quantitativos e mensuráveis, abrangendo aspectos físicos, químicos e biológicos que formam um solo de qualidade. Esses aspectos são importantes para definir o grau de

degradação ou melhora do solo, bem como, identificar práticas de uso e manejo sustentável desse (DEXTER, 2004). Karlen et al. (2003) ressaltaram que não há um índice ideal, porém, as avaliações devem identificar as funções críticas do solo que sejam necessárias a alcançar a qualidade para cada situação, fornecendo informações úteis de seu funcionamento.

As propriedades físicas do solo são boas indicadoras de sua qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram interferência, podendo determinar o uso daquela que provoque melhorias ao solo (ARSHAD et al., 1996). A qualidade do solo do ponto de vista físico refere-se a sua capacidade física em sustentar o pleno desenvolvimento de plantas (REICHERT et al., 2003), caracteriza-se por um sistema complexo que representa a interação de todos os componentes de um agroecossistema refletindo no adequado funcionamento do solo como um todo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). Dessa maneira, os cultivos que integram sistemas agroflorestais evidenciam efeitos da floresta no aumento da resiliência do solo e na recuperação e manutenção da funcionalidade das propriedades físicas (PREVEDELLO et al., 2013).

Os diferentes usos e manejos do solo influenciam as distintas propriedades físico-hídricas do mesmo, podendo provocar alterações em sua estrutura. Desse modo, o monitoramento da qualidade física do solo por meio de suas propriedades deve buscar variáveis que sejam sensíveis à variação do manejo a que o solo está submetido. Algumas propriedades são de maior uso como indicadores de qualidade física do solo, tais como, a densidade, a porosidade, a

resistência do solo à penetração, a estabilidade dos agregados, a matéria orgânica e a retenção de água no solo (MOTA et al., 2013). Enfim, a qualidade do solo é o primeiro requisito para a sustentabilidade agrícola e ambiental (CARDOSO et al., 2013).

2.3 Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo

2.3.1 Textura do solo

A textura do solo é uma das principais características dos solos agrícolas, uma vez que, determina o comportamento de inúmeros fenômenos que ocorrem no mesmo. As frações de areia, silte e argila são os principais componentes do solo, principalmente, a fração de argila que caracteriza o valor econômico da terra (KLEIN, 2014).

A avaliação da textura possibilita a representação das proporções relativas no solo das frações argila, areia e silte, quais dificilmente são alteradas, e são utilizadas para classificação dos solos diante de sua aptidão agrícola. Além de classificar os solos perante sua aptidão agrícola, a textura influencia grande parte das características e propriedades do solo, por exemplo, a capacidade de retenção de água, a susceptibilidade à erosão, a capacidade de troca de cátions, a matéria orgânica e a estrutura do solo, principalmente devido aos teores de argila que o solo possui (REINERT et al., 2006).

Alameda & Villar (2012) enfatizaram a importância da textura do solo na determinação da compactação e os efeitos dessa no

crescimento das raízes, ou seja, solos com diferente composição granulométrica, como solo argiloso e arenoso, proporcionam resultados distintos quanto à compactação e o contato do solo com a semente, e posteriormente o sistema radicial da planta. A maior influência da textura do solo no crescimento radicular é nos primeiros 10 dias de implantação da cultura, pelo fato do tamanho das partículas do solo influenciar a densidade e a distribuição dos poros do solo, concluindo que solos com maior teor de argila proporcionam melhor crescimento inicial das raízes (TRACY et al., 2013).

A textura do solo ainda tem efeito sobre o teor de água no solo, relacionando o tamanho de suas partículas, principalmente quanto à manutenção do teor de água próximo a capacidade de campo em sistemas de irrigação (WU et al., 2011), uma vez que, o tamanho dos poros, a capacidade de armazenamento e retenção de água está relacionado com o tamanho de partículas presentes em um determinado tipo de solo (DEXTER, 2004).

2.3.2 Matéria Orgânica

A matéria orgânica (MO) é um importante condicionador do solo, influenciando direta e indiretamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo. Atua em processos físicos pela sua elevada área superficial e quantidade de cargas superficiais, demonstrando efeitos sobre a estabilidade dos agregados, consistência do solo, retenção e disponibilidade de água, bem como, na distribuição do tamanho de poros (BRAIDA et al., 2011).

O uso e manejo do solo afetam a quantidade de matéria orgânica no solo e demais propriedades que essa influencia. Desse modo, maiores valores de MO são encontrados em mata nativa e ainda em plantio de árvores, tal como, sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) em que esses valores são recuperados em longo prazo, superior aos 7 anos de implantação (SILVA et al., 2014b).

Uma alternativa de manutenção e recuperação de teores de MO no solo é a implantação de sistemas integrados de produção, tal como a integração de árvores, grãos e pastagem. No nordeste brasileiro sistemas agroflorestais de coqueiral sob Argissolo tem proporcionado aumento do teor de MO, em relação ao pomar convencional de coqueiral e citros (GUIMARÃES et al., 2013b). Tirloni et al. (2012) relataram em avaliação de sistema de integração lavoura-pecuária, que esse sistema, aliado à rotação de culturas, manteve os níveis de carbono no solo igual aos da floresta nativa utilizada como testemunha, evidenciando a eficiência de sistemas de integração e a MO como indicador de qualidade do solo.

Além disso, Sousa Neto et al. (2014) relataram em avaliação de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) que esse não diferiu no teor de carbono orgânico em relação a integração lavoura-pecuária e mata nativa. Porém, esses autores afirmaram a necessidade de avaliações ao longo dos anos, pelo fato da ILPF ter apenas 3 anos de implantação.

2.3.3 Argila dispersa em água e índice de flocação

A argila dispersa em água (ADA) é denominada também de “argila natural”, por ser obtida apenas com agitação mecânica e com água como dispersante (KLEIN, 2014). A dispersão de argila é um fenômeno natural, que ocorre pela desintegração dos agregados do solo pelo impacto de gota de chuva e, por meio de preparo ou manejo do solo (SETA & KARATHANASIS, 1996).

Essa fração da argila é um indicador de estabilidade estrutural e da formação de crostas e erosão do solo (PARADELO et al., 2013), pelo fato de que quanto maior o teor de argila dispersa menos estável será o solo, podendo ocorrer perdas por erodibilidade do solo e eluviação de argila no perfil do solo (KLEIN, 2014). A ADA ainda é influenciada pela quantidade de cátions trocáveis, principalmente o Na, pela mineralogia (tipos de minerais) e os agentes ligantes, tais como, a matéria orgânica e os óxidos de Fe e Al (SETA & KARATHANASIS, 1996).

Relacionando a influência das cargas e da mineralogia do solo na ADA, essa também é utilizada para representação da atividade da fração argila, uma vez que, baixos teores de ADA são o reflexo de baixa atividade de argila (FERREIRA, 2010).

Alterações nos teores ADA num solo ocorrem principalmente pelo manejo adotado, como relataram Paradelo et al. (2013), que após oitenta anos de cultivo com adição de vários fertilizantes e corretivos, observaram a melhora da estrutura do solo (menor teor de ADA) na adição de carbonato de cálcio e dejetos de

animais, e aumento da degradação causada pela adição de sais de potássio e sódio. Esses manejos adotados modificam as propriedades físicas do solo e sua estrutura, bem como, podem aumentar o risco de erosão do mesmo.

Em sistemas agroflorestais os teores de ADA diminuem e o índice de floculação (IF) aumenta nas camadas superficiais do solo (0-0,10 m), estando relacionados aos teores de matéria orgânica, que é influenciada pelo componente arbóreo (floresta) (FREITAS et al., 2013). O IF é inverso ao teor ADA, havendo correlação negativa entre os mesmos, a floculação caracteriza-se como a primeira fase para a formação e estabilização dos agregados do solo (AGNE & KLEIN, 2014).

A manutenção da cobertura vegetal proporcionada pela adoção de sistemas agroflorestais apresentam valores de densidade do solo do sistema próximos aos observados em mata nativa, utilizada como referência, bem como, maior IF e menor ADA (THOMAZINI et al., 2013).

2.3.4 Densidade dos sólidos do solo

A densidade dos sólidos do solo (D_{ss}) é a relação entre a massa de solo seco e o respectivo volume de sólidos ou partículas do solo, não considerando o arranjo das partículas e a estrutura da matriz do solo. Os valores de D_{ss} são dependentes das frações minerais e orgânica do solo. Cada componente da fração mineralógica do solo possui massas específicas, variando os valores de D_{ss} conforme a

composição de cada tipo de solo (FERREIRA, 2010). Geralmente, óxidos de Fe e metais pesados aumentam os valores de Dss e a matéria orgânica diminui pelo fato de sua massa específica ser cerca de 1000 kg m^{-3} .

Contudo, a Dss é base para a obtenção do valor de porosidade total do solo, cálculo de tempo de sedimentação das partículas em análises de textura e separação de minerais pesados e leves efetuados em estudos mineralógicos (FERREIRA, 2010).

Melloni et al. (2008), avaliando a qualidade do solo em diferentes ecossistemas, observaram que a Dss do ecossistema eucalipto com sub-bosque foi diferente apenas do cerrado nativo (sem ação antrópica), similar ao ecossistema com araucária de 35 anos de idade e pastagem em submanejo. Em avaliação de diferentes sistemas de manejo Silva et al. (2014a) relataram que o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta diferiu do cerrado nativo somente na profundidade de 0-20 cm para a Dss.

Já, Thomazi et al. (2013) relataram que valores de Dss em um Latossolo Vermelho sob Bioma Mata Atlântica foram menores em camadas superficiais, pelo fato de maior aporte de matéria orgânica em relação ao cultivo de sistema agroflorestal com café e pastagem.

2.3.5 Densidade do solo

A densidade do solo é a relação entre a massa de sólidos por seu volume, usada como medida direta do estado de compactação do solo. É afetada pela textura e a matéria orgânica do solo, pelos

sistemas de manejo e o grau de compactação, afetando a porosidade do solo, a resistência mecânica do solo à penetração, a retenção e disponibilidade de água às plantas (KLEIN, 1998).

Áreas de conversão de florestas nativas em sistemas de cultivo tem mostrado que a densidade do solo é alterada, aumentando na profundidade superficial até 10 cm (CRUZ et al., 2014), evidenciando a capacidade das florestas manter uma boa estrutura do solo. Melloni et al. (2008), avaliando a qualidade do solo sob diferentes coberturas florestais e pastagem, relataram que a densidade do solo foi menor no ecossistema floresta de eucalipto diante da floresta de araucária e da pastagem. Ainda, em uma análise de agrupamento dos ecossistemas com uso das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o ecossistema eucalipto apresentou maior similaridade, cerca de 60%, em relação à mata nativa (MELLONI et al., 2008).

A densidade do solo é uma das principais propriedades físicas utilizada para avaliar a compactação. Na avaliação de solos com floresta nativa e povoamento de eucalipto com 20 e 4,5 anos, Suzuki et al. (2012) relataram que a floresta tem menor variação de densidade no perfil do solo, diferente do povoamento de eucalipto com 4,5 anos, que utilizados para fins comerciais pode ocasionar nível intermediário de compactação no solo devido ao tráfego de máquinas. No entanto, o povoamento de eucalipto com 20 anos apresentou características físicas do solo parecidas à floresta e demonstra um potencial para recuperação da estrutura do solo.

Em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com duas densidades de eucalipto e altura de pastejo, a densidade do solo foi maior na camada de 0-0,10 m em relação à integração lavoura pecuária e mata nativa (SOUSA NETO et al., 2014). Esses autores ainda relataram que a densidade foi maior com 357 árvores ha⁻¹ e altura de pastejo de 30 cm, aumentando na camada de 0,10-0,20 m, em relação ao sistema de integração lavoura pecuária e a mata nativa.

2.3.6 Compactação do solo

A compactação do solo é o processo de adensamento das partículas, com redução da porosidade total e aumento da densidade e da resistência à penetração do solo, afetando principalmente a macroporosidade, permeabilidade e infiltração de água (SILVA & ROSOLEM, 2001). O fenômeno da compactação é explicado por meio da grande influência que a água intersticial exerce sobre as partículas do solo (KLEIN, 2014). Por vez, a compactação do solo é um dos principais problemas visualizados em áreas intensamente mecanizadas e é o fator primordial na degradação da estrutura do solo (MOSADDEGHI et al., 2007).

Em sistemas silvipastoril os solos podem ser compactados pelo crescimento das raízes das árvores em menor escala e pelo pisoteio animal (pastejo), além do tráfego de máquinas agrícolas, diferentemente de áreas de cultivo de grãos contínuo. Contudo, a mecanização é a principal causa da compactação em ambos os sistemas de produção (REICHERT et al., 2007).

Os solos agrícolas e florestais apresentam grande amplitude de densidade em função de características mineralógicas, de textura e teor de matéria orgânica. Desse modo, a variação de densidade do solo dificulta a avaliação do grau de compactação do mesmo (BRADY & WEIL, 2008). A densidade do solo não fornece informações suficientes para quantificar o grau de compactação, então foi proposto o conceito de densidade relativa do solo (BEUTLER et al., 2005; KLEIN, 2006, 2014), que é a relação da densidade do solo com sua densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor normal.

A densidade máxima do solo ($D_{m\acute{a}x}$) e a umidade ótima de compactação são obtidas pelo ensaio de Proctor, esse proposto por Ralf Proctor em 1933, com objetivo de conhecer a relação que existe entre a densidade, umidade e energia de compactação de um solo com estrutura alterada, uma vez que, o valor o umidade do solo em que ocorre a $D_{m\acute{a}x}$ é definido como umidade ótima de compactação (UOC) para o dado nível de energia aplicada (BUENO & VILAR, 1998).

Além disso, a $D_{m\acute{a}x}$ e a UOC são dependentes do teor de matéria orgânica e argila no solo, causando redução da $D_{m\acute{a}x}$ e aumento da UOC com aumento do teor de argila e MO (FIGUEIREDO et al., 2000; MARCOLIN, 2006), devendo esses valores serem determinados para cada solo.

Em avaliação de curva de compactação em um Latossolo Vermelho de textura média (323 g kg^{-1} de argila) e argilosa (572 g kg^{-1} de argila), Freddi (2007) encontrou $D_{m\acute{a}x}$ de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,61 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Beutler et al. (2005) observaram valores de

D_{máx} maiores em Latossolo Vermelho distrófico de textura média em relação ao Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa, 1,85 Mg m⁻³ e 1,54 Mg m⁻³, respectivamente. Comparando a D_{máx} em solos de textura argilosa e arenosa, o primeiro terá menor D_{máx}, pois a argila interage mais com água diminuindo o seu efeito lubrificante entre as partículas minerais e também a susceptibilidade a compactação, pelo fato de apresentar maior CTC e área de superfície específica do que a areia (BRAIDA et al., 2006).

O uso da densidade relativa (DR) como indicador de compactação e qualidade física do solo é confirmado por esse não sofrer influência do tipo de solo. No Brasil estudos de DR crítica divergem quanto à redução da produtividade de culturas, uma vez que, Beutler et al. (2005) relataram que a produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no campo diminuiu a partir de DR de 0,80, já Klein (2006) em Latossolo Vermelho encontrou DR limitante de 0,88 em área irrigada e DR ótima de 0,71 na área de mata. Contudo, Marcolin (2009) constatou que DR entre 0,90 e 0,95 foi a qual o crescimento das raízes das plantas teve maior restrição, concluindo que DR > 0,95 o solo estaria muito compactado e, que a faixa de DR adequada ao desenvolvimento das plantas seria de 0,80 – 0,90; DR < 0,80 o excesso de porosidade torna-se prejudicial.

Em áreas cultivadas com povoamento de eucalipto a compactação afetou negativamente a estrutura do solo até a camada de 0,40 m quando esse é para fins comerciais (SUZUKI et al., 2012). Contudo, esses autores relataram o potencial do eucalipto na recuperação de área degradadas, sem objetivo comercial. No entanto,

Loro et al. (2013) em avaliação de sistema agroflorestal, consórcio de eucalipto com soja/milho e pastagem, encontraram valores de DR de 1,00 e 1,01, na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente, justificando os valores em virtude do pisoteio de animais.

2.3.7 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros

O sistema poroso do solo é avaliado por seu volume ou pela forma de distribuição dos poros, a porosidade total do solo caracterizada como a fração volumétrica do solo ocupada por ar e água, é o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos da solução do solo e do ar (HILLEL, 1998). Os poros são divididos em três classes, macroporos, microporos e criptoporos (KLEIN & LIBARDI, 2002). Esses estão diretamente ligados à densidade do solo, pelo fato de quanto maior a densidade do solo menor será o espaço entre os poros (macro, micro e criptoporos).

Os macroporos são responsáveis pela aeração e drenagem da água (infiltração de água no solo), enquanto a microporosidade tem responsabilidade sobre a retenção e redistribuição da água no solo (REICHERT et al., 2007; KLEIN, 2014). Já os criptoporos seriam os poros intra-agregados que retém a água não disponibilizando as plantas (KLEIN, 2014).

Dessa forma, alterações na porosidade total do solo afetam a drenagem e infiltração da água no mesmo, e as trocas gasosas (FERREIRA et al., 2011). Em estudo de floresta de eucalipto sob campo nativo, Prevedello et al. (2013) relataram que a distribuição do

diâmetro dos poros foi semelhante nas duas áreas, representando na maioria poros de 300-50 μm , alguns casos $>300 \mu\text{m}$, resultando em maior condutividade hidráulica do solo.

Em comparação de solos sob cultivos de floresta antropizada, povoamento de eucalipto com 20 e 4,5 anos, a macroporosidade foi menor em todas as camadas no cultivo de eucalipto com 4,5 anos, devido ao desenvolvimento e decomposição de raízes em profundidades maiores, em conjunto com maior aporte de matéria orgânica no solo em cultivos de superior idade (SUZUKI et al., 2012).

A porosidade total e a macroporosidade foram reduzidas em um Latossolo no Cerrado sob sistema de ILPF, com valores críticos de macroporosidade ($0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na área com 357 árvores ha^{-1} e altura de pastejo de 30 cm (SOUSA NETO et al., 2014). Esses autores ainda relataram que a microporosidade foi menor na camada de 0,10-0,20 m sob mata nativa ($0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e maior no sistema de integração lavoura pecuária ($0,40$ e $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para as duas alturas de pastejo (30 e 45 cm), porém, não diferiu dos valores visualizados na integração lavoura pecuária floresta ($0,38$ e $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

2.3.8 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é a resistência física que o solo oferece a penetração das raízes, influenciando o seu crescimento e da parte aérea das plantas. A avaliação da resistência do solo à penetração é utilizada para analisar

o impacto dos sistemas de uso e manejo do solo, diante do processo de compactação (DIAS-JÚNIOR & PIERCE, 1996). Sistemas de cultivo florestais por longo período e com baixo tráfego de máquinas podem não apresentar crítica resistência mecânica do solo à penetração, mesmo que o crescimento de raízes proporcione a aproximação das partículas do solo resultando em compactação (REICHERT et al., 2007).

Valores limitantes de resistência mecânica à penetração para quantificar a qualidade do solo são discutidos por vários autores, principalmente, pelo fato da resistência a penetração sofrer influência da densidade e umidade do solo, bem como, do tipo de solo e plantas presentes nesse, e também por não considerara bioporosidade do solo (REICHERT et al., 2007).

Usualmente, o valor de 2 MPa é utilizado como limitante a produtividade das culturas (REYNOLDS et al., 2002; SILVA et al., 2008; LIMA et al., 2012). Porém, Klein & Câmara (2007), em cultivo de soja, encontraram valores limitantes de resistência a penetração entre 2 e 3 MPa, similar aos valores para espécies florestais que são restritivos ao crescimento radicular na mesma variação de valores (2 - 3 MPa) (GONÇALVES & STAPE, 2002). No entanto, Moraes et al. (2014) em estudo de limites críticos de RP em Latossolo Vermelho muito argiloso concluíram que em sistema de cultivo escarificado deve ser aumentado o limite para 3 MPa e para 3,5 MPa sob sistema de plantio direto por longo tempo, mantendo o limite de 2 MPa para o preparo convencional.

Na avaliação de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, em relação à integração lavoura-pecuária e a mata nativa, os tratamentos com árvores e altura de pastejo de 30 cm apresentaram valores superiores de RP nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m (0,81-0,88 e 0,92-0,96 MPa) (SOUSA NETO et al., 2014). Os autores ressaltaram que os valores observados, apesar de superiores no sistema ILPF, não são restritivos ao crescimento das plantas, por serem inferiores aos limites considerados críticos.

Sob sistema agrossilvipastoril em Minas Gerais, Neves et al. (2007) observaram altos valores de RP nesse sistema de integração em relação ao Cerrado nativo na camada superficial (0-0,20 m), variando de 2,5 MPa a 4 MPa. Os autores ainda ressaltaram que na camada de 0,20-0,40 m os níveis foram superiores (4,8 MPa à 6,8 MPa), porém, não diferiram do Cerrado.

Já, Freitas et al. (2012), em avaliação de sistema agroflorestal (SAF) implantado a 25 anos, encontraram valores de RP maiores na pastagem e na roça de toco em relação a SAF. Essa manteve uniformidade nos valores de RP nas camadas avaliadas no perfil do solo, assim, concluíram que a implantação de SAF melhorou os indicadores de qualidade física do solo demonstrando ser uma alternativa para o uso do solo (FREITAS et al., 2012).

2.3.9 Consistência do solo

A consistência do solo é regida pela variação da umidade no solo, é a consequência de manifestações de forças físicas de adesão

e coesão (VASCONCELOS et al., 2010). Conforme o seu conteúdo de água um solo pode apresentar vários estados de consistência, uma vez que, os valores do conteúdo de água em seus pontos de transição são denominados de limites, conceitos introduzidos por Atterberg como limite plástico, limite líquido e índice de plasticidade.

Além do conteúdo de água, a textura, a matéria orgânica, a mineralogia e o tipo de cátion adsorvido no solo influenciam a variação da consistência. Solos com maior teor de argila (partículas menores), altos teores de Fe, Al e matéria orgânica apresentam aumento de coesão e adesão, diferentemente de solos com presença do argilomineral caulinita (Latosolos) (REICHERT et al., 2010).

Os estados de consistência do solo são caracterizados como sólido, semissólido, plástico e líquido. No ponto de transição entre o estado semissólido e plástico, a umidade do solo (a base de massa), é denominada de limite plástico (LP), condição de umidade acima da qual o solo se apresenta friável, e a umidade do solo no ponto de transição entre o estado plástico e o líquido, é denominada delimitado de liquidez (LL), condição em que o solo comporta-se como fluído. O intervalo de umidade do solo entre o limite plástico e o líquido é denominado de índice de plasticidade (KLEIN, 2014).

Com maior teor de argila, ocorre um aumento na faixa de conteúdo de água em que o solo é plástico. A matéria orgânica também aumenta a quantidade de água necessária para saturar a argila e tornar o solo plástico. Logo, os limites plástico e líquido do solo aumentam, porém, o índice de plasticidade geralmente não é afetado (MARCOLIN, 2006; REICHERT et al., 2010). A redução da matéria

orgânica de solos cultivados pode reduzir o limite plástico e a faixa de friabilidade, resultando em aumento da compactação do solo (SILVA et al., 2006).

A determinação do conteúdo de água adequado para realizações de atividades mecanizadas é importante para delimitação da faixa de umidade ideal do solo para execução dessas atividades, sem que haja o risco de degradação física do solo (SILVA et al., 2006). O preparo e manejo do solo com umidade próxima ao limite plástico favorece a compactação dos solos agrícolas, pelo fato que a água reduz a coesão e atua como lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento e o adensamento das partículas do solo quando esse é submetido a algum tipo de pressão (LUCIANO et al., 2012).

2.3.10 Estabilidade dos agregados

Uma das propriedades físicas do solo, que pode determinar o manejo utilizado e a degradação de um solo, é a estabilidade de seus agregados, pelo fato de determinar a estabilidade da porosidade originada de preparos do solo e a sua suscetibilidade à erosão (KLEIN, 2014). Um agregado no solo é caracterizado por ser um grupo de duas ou mais partículas primárias aderidas umas às outras mais fortemente do que as partículas que as circundam (KEMPER & CHEPIL, 1965).

A estabilidade dos agregados é influenciada pelo teor de argila, de matéria orgânica, pela cobertura vegetal e pelo tipo de uso e

manejo do solo (DEMARCHI et al., 2011). Ainda, o grau de flocculação das argilas torna-se um fator importante para maior agregação das partículas do solo, por caracterizar o início desse processo (FERREIRA, 2010).

O estado de agregação de um solo e o tamanho de seus agregados é avaliado por meio de parâmetros como o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA) (KEMPER, 1965; KEMPER & CHEPIL, 1965). O DMG representa a estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência; o DMP é tanto maior quanto maior a percentagem de agregados retidos nas peneiras com malhas maiores e o IEA é a medida de agregação total do solo, não considerando a distribuição por classes. A maior quantidade de agregados retidos <0,25 mm representa menor IEA (CASTRO et al., 1998).

Na avaliação da estabilidade dos agregados em três regiões de solos tropicais sob cultivo de eucalipto, comparado com mata nativa, foi encontrada estabilidade de agregados maior de 50% sob cultivo de eucalipto e na mata nativa, conferindo alta estabilidade de agregados para essas áreas, não havendo diferença entre ambas (AVANZI et al., 2011). Suzuki et al. (2014) relataram que o DMP dos agregados diminui conforme a profundidade do perfil do solo, havendo diferenças entre os manejos somente em camadas limítrofes, por vez, a área sob eucalipto com vinte anos apresentou maior DMP na camada de 0,6 m, pelo fato do seu sistema radicular em profundidade.

Em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, com arranjo de 357 árvores ha⁻¹ e altura de pastejo de 30 cm, a porcentagem de agregados estáveis na classe de 4,76-8,00 mm foi de 95% e de 92,43% nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, superior ao arranjo de 227 árvores ha⁻¹, a integração lavoura-pecuária e a mata nativa (SOUSA NETO et al., 2014). Os sistemas agroflorestais também foram eficientes na reconstrução de agregação de um solo degradado na Índia central, entorno de 89% de recuperação na camada de 0,30 m (LENKA et al. (2012).

A maior agregação em profundidade no perfil do solo com a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta é baseada no fato que as raízes das árvores penetram em maior profundidade, e essas liberam enzimas que acentuam o processo de agregação (PAUDEL et al., 2012).

2.3.11 Água no solo

A disponibilidade de água às plantas, a infiltração e a armazenagem da mesma, são importantes para seu adequado desenvolvimento sob agroecossistemas, por determinarem a sua sobrevivência e produção. O conteúdo de água disponível no solo é dependente da sua estrutura, por essa determinar o arranjo das partículas, e do teor de argila e de matéria orgânica por determinarem a retenção de água do mesmo (KLEIN, 2014).

O solo constitui um reservatório que se repõem constantemente, à água retirada pela cultura, respeitando um valor

limite inferior para a disponibilidade de água. Nesse contexto, o conceito de água disponível (AD) entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) é bastante utilizado (TORMENA et al., 1999).

Durante avaliação da influência de sistemas agroflorestais na infiltração e armazenagem de água, em períodos secos o manejo agroflorestal apresentou menor teor de água no solo em relação ao tratamento de plantas cultivadas, devido a maior transpiração do primeiro (ANDERSON et al., 2009). Contudo quando ocorreu o período de chuvas o sistema agroflorestal proporcionou maior infiltração e capacidade de armazenagem de água.

Em regiões semiáridas ocorre maior dependência do uso eficiente da água. Avaliações de sistemas agroflorestais em banco de terraços demonstram que dependendo das espécies florestais utilizadas há melhora na armazenagem de água e diminuição da perda por evaporação após chuvas (SIRIRI et al., 2013). Tobella et al. (2014) relataram que árvores dispersas na paisagem em zonas áridas, de sequeiro, podem melhorar a infiltração de água no solo e o fluxo preferencial, contribuindo para drenagem profunda e recargado conteúdo de água subterrânea.

2.3.12 Retenção de água no solo

A capacidade de armazenamento de água é característica específica de cada solo, resultado de diversos fatores, como o teor de minerais, a textura, teor de matéria orgânica, densidade e estrutura do

solo (BEUTLER et al., 2001). A curva de retenção de água no solo é considerada como uma determinação adequada para caracterizar qualidade física e estrutural do mesmo (MARCHÃO et al., 2007). Essa curva representa a relação entre a energia de retenção da água nos poros (potencial mátrico) e o conteúdo de água correspondente a cada tensão (BEUTLER et al., 2002).

As curvas de retenção de água no solo são dependentes da distribuição do diâmetro de poros no mesmo, dessa forma, avaliações de curvas entre floresta antropizada e eucalipto com 20 e 4,5 anos de idade, demonstrou que em camadas acima de 20 cm as áreas com eucalipto apresentaram menor disponibilidade (eucalipto com 20 anos) e maior drenagem de água (eucalipto com 4,5 anos), em virtude de maior porcentagem de criptoporos e macroporos, respectivamente (SUZUKI et al., 2014). Por vez, na camada em profundidade no perfil do solo a amplitude de variação das curvas de retenção de água diminuiu, apresentando semelhança entre as curvas da floresta e eucalipto com 4,5 e do eucalipto com 20 anos com o eucalipto 4,5 anos.

Em avaliação de áreas de floresta e savana nativas convertidas em áreas de pastagens, Cruz et al. (2014) relataram que a armazenagem de água foi maior na floresta, visualizando interferência da armazenagem quando convertida em área de pastagem, diferente da savana que não apresentou diferenças.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, clima e solo

O experimento foi instalado na Unidade de Referência Tecnológica (URT) ILPF, estabelecida pela Associação Riograndense de Empreendimentos, de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater) em conjunto com a Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira (Embrapa), no Distrito do Pulador, Passo Fundo-RS. A área experimental (Figura 1) está situada a 566 m de altitude, com latitude 28° 16' 43,18'' S e longitude 52° 32' 27,09'' O, com clima do tipo Cfa 1 na classificação de Köeppen (subtropical chuvoso).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico, relevo ondulado e substrato basalto, pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo (STRECK et al., 2008). Possui composição média de 0,527 kg kg⁻¹ de argila, 0,139 kg kg⁻¹ de silte e 0,334 kg kg⁻¹ de areia, classificado como solo tipo 3 no Zoneamento Agrícola de Risco Climático, descrito na Instrução Normativa 02/2008 (BRASIL, 2008).



Figura 1 - Área experimental na unidade de referência tecnológica de integração lavoura-pecuária-floresta, Passo Fundo (RS) 2014.

3.2 Histórico da área

A URT foi instalada em novembro de 2008, constituindo de um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, com o objetivo final de consorciar o cultivo de grãos, produção de eucalipto e a criação de bovinos de leite. A área total é de três hectares, cultivada com eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), em espaçamento 3 m x 2 m, dispostas em linhas triplas distanciadas 14 m entre renques. Quando implantado o sistema foi realizado o controle de formigas e plantas invasoras por meio de uso de defensivos agrícolas. Para o preparo do solo foi utilizado subsolador na linha de plantio de

eucalipto para descompactação e 120 kg ha^{-1} de fertilizante químico na fórmula $5 - 25 - 25$ (N - P_2O_5 - K_2O), com plantio manual (Figura 2).



Figura 2 - Plantio (A) e acomodação (B) das mudas de eucalipto na linha de plantio após descompactação do solo, Passo Fundo (RS) novembro de 2008. Foto: Eng. Agr. Ilvandro Barreto de Melo (Emater-RS).

Após plantio das mudas de eucalipto, na URT, denominado de Ano 0 (implantação da ILPF), em 2008, foi semeada a cultura da soja, com adubação química de 250 kg h^{-1} a da fórmula $2 - 20 - 20$ (N - P_2O_5 - K_2O), realizando todo manejo necessário a cultura de grão e no período do inverno foi realizada semeadura da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), sem realização de pastejo. Seguindo no Ano 1, em 2009, no verão, a semeadura da cultura da soja e no inverno semeadura de aveia. Já no Ano 2, em 2010, ocorreu semeadura da cultura do milho (*Zea mays* Lineu), devido seu porte maior e competitivo com o eucalipto e, no inverno foi semeado aveia para pastejo. O Ano 3 (2011) e 4 (2012) foi semeado milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown.) destinado ao pastejo no verão,

seguinte com semeadura de aveia e azevém (*Lolium multiflorum* Lam) no inverno, e no Ano 5 (2013) ocorreu a semeadura de soja, no verão.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com arranjo em parcelas subdivididas, constituído de seis blocos com dois componentes (floresta e lavoura) e oito parcelas subdivididas (camadas de solo amostrado) caracterizando 16 tratamentos e 96 amostras.

3.4 Coleta das amostras

As amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada e não preservada nas camadas de 0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m em cada parcela (Figura 3).

A amostragem do solo com estrutura preservada foi coletada com auxílio de um amostrador do tipo “Uhland”, utilizando cilindros de aço inoxidável com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Essas utilizadas para determinar a densidade do solo (Ds), a curva de retenção de água, porosidade total do solo (Pt) e resistência mecânica do solo à penetração (RP). Foram coletadas as amostras com estrutura não preservada para a determinação da densidade de sólidos do solo

(Dss), textura do solo, argila dispersa em água (ADA), consistência do solo, estabilidade dos agregados em água e matéria orgânica.



Figura 3 - Coleta de amostras de solo com estrutura preservada (A) e deformada (B), Passo Fundo(RS), 2014.

Para determinação da compactação o solo, densidade máxima do solo ($D_{m\acute{a}x}$) e umidade ótima de compactação (UOC), foi realizada coleta de 15 kg de solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m em cada parcela para realização do ensaio de Proctor.

A coleta de amostras de solo para determinar a variação de umidade do solo foi efetuada em três datas, 27/03, 07/04 e 23/05 de 2014, com o auxílio de um amostrador do tipo rosca, retirando 24 amostras por parcela, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40, delimitadas por convenção, totalizando 48 amostras. As coletas foram efetuadas em um período com baixa precipitação, com intervalo de aproximadamente 7 e 15 dias com baixa precipitação entre as datas de coleta e, 45 dias após a última data de coleta em um período de alta precipitação (Figura 4).

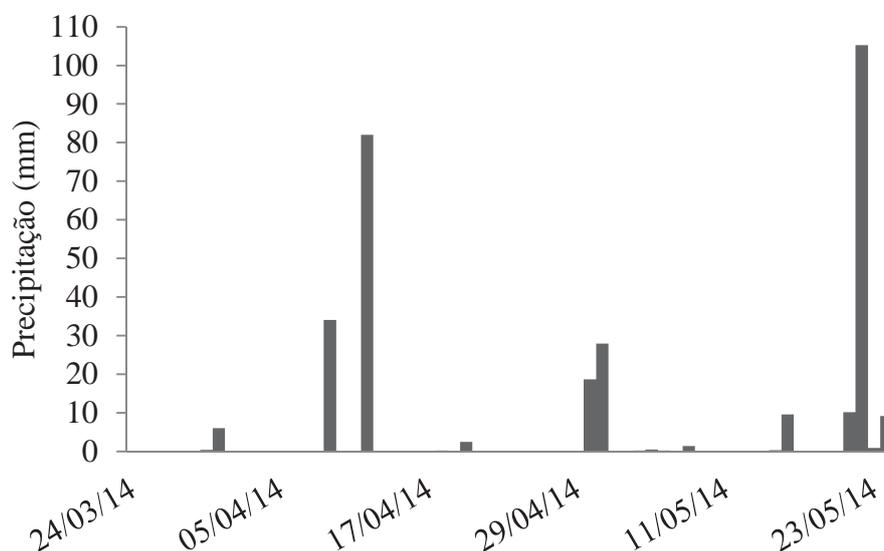


Figura 4 - Precipitação média (mm) em Passo Fundo durante o período de coleta das amostras de umidade do solo, dias 27/03, 07/04 e 23/05/2014, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Fonte: Embrapa Trigo.

3.5 Análises físico-hídrico-mecânicas do solo

3.5.1 Textura do solo

A caracterização da textura do solo foi efetuada através da análise granulométrica, pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986; EMBRAPA 1997) e separação da fração areia por peneiramento. Para determinação utilizou-se 40 g de solo (tfsa) seco em estufa 105 °C; o solo foi disperso em meio químico, com uso de 100 mL de solução Calgon ($\text{Na}_2\text{PO}_6 + \text{NaOH}$) e 250 mL de água, em um vidro de 600 mL. Esses vidros foram acomodados em um dispositivo de agitação para que se efetuasse a dispersão em meio

mecânico também. O dispositivo de agitação trabalha com frequência de 120 ciclos por minuto, por um período de 15 horas.

Após dispersão efetiva das partículas do solo, a suspensão foi passada em peneira 0,053 mm (270 mesh) para reter toda areia; lavou-se a solução até encher provetas de 1 litro, as quais foram dispostas em bancada firme. Depois de secas em estufa 105 °C até massa constante, a fração areia foi separada por peneiramento em classes muito grossa (> 1 mm), grossa (0,5-1 mm), média (0,25-0,5 mm), fina (0,105-0,25 mm) e muito fina (< 0,105 mm).

A leitura das amostras foi realizada por meio de duas pipetagens de 25 mL, obtendo o tempo entre as pipetagens conforme a temperatura da suspensão. A primeira pipetagem foi efetuada imediatamente após agitação para determinar a fração silte+argila, e a segunda em média 4 horas após, determinando a fração argila. A suspensão coletada foi secada em estufa 105 °C, pesada e efetuado cálculo das frações por meio de regra de três.

3.5.2 Matéria Orgânica

Os valores de matéria orgânica (MO) foram determinados por meio da metodologia da solução sulfocrômica de Tedesco et al. (1995). Foram retiradas cinco gramas de cada amostra de solo e dispostas em frascos de Erlenmeyer de 50 mL, os quais foram conduzidos ao laboratório de rotina da FAMV/UPF, onde foram adicionados 15 mL da solução sulfocrômica, aquecendo em banho-maria por 30 minutos e agitando por cinco minutos. Após, adicionou-

se 15 mL de água às amostras que permaneceram em repouso durante a noite, efetuando a leitura na manhã seguinte.

3.5.3 Argila dispersa em água e índice de floculação

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada pelo método da pipeta sem adição de dispersante químico, apenas com água como dispersante e agitação mecânica por 15 horas. Foi efetuada uma pipetagem de argila dispersa num tempo médio de 4 horas após a agitação da solução.

Por meio da determinação da ADA e da argila total foi obtido o índice de floculação (IF) utilizando a equação (1):

$$IF (\%) = \frac{\text{Argila total (\%)} - \text{Argila dispersa em água (\%)}}{\text{Argila total (\%)}} \quad (1)$$

3.5.4 Densidade dos sólidos do solo

A determinação da densidade dos sólidos do solo (Dss) foi efetuada pelo método dos balões volumétricos, pela diferença entre o volume do balão e o volume de álcool adicionado obtendo o volume ocupado pelos sólidos (EMBRAPA, 1997). Utilizou-se 20 g de solo (tfsa) seco em estufa 105 °C, peneirado em peneira 2 mm, foi colocado o solo no balão volumétrico de 50 mL, adicionando 25 mL de álcool, realizou-se uma breve agitação do balão fechado para expulsar as bolhas de ar e esse foi deixado em repouso por 24 horas. Finalizadas às 24 horas, agitou-se novamente o balão para retirada de

ar e foi completado o volume do balão com álcool, anotando o valor para realização do cálculo e obtenção do volume ocupado pelos sólidos do solo pela equação (2).

$$D_{ss} = \frac{M_{ss}}{50 - V_A} \quad (2)$$

Onde: D_{ss} = densidade dos sólidos do solo ($Mg\ m^{-3}$);

M_{ss} = massa de solo seco (Mg);

V_A = volume de álcool adicionado (m^3).

3.5.5 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do cilindro volumétrico. As amostras foram retiradas com auxílio de um extrator com cilindros volumétricos de aço inoxidável, os cilindros foram retirados do extrator com cuidado e efetuada drimagem da amostra. A densidade foi determinada pela relação da massa seca do solo pelo volume do cilindro (equação 3). Os cilindros foram colocados em estufa $105\ ^\circ C$ até massa constante (em torno de 24 horas) e, posteriormente, pesados para obter o valor da massa seca do solo.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (3)$$

Onde: D_s = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$);

Mss = massa de solo seco (Mg);

V = volume do cilindro (m³).

3.5.6 Compactação do solo

Para determinar a curva de compactação do solo realizou-se o ensaio de Proctor normal, sem reuso de material descrito em Nogueira (1998), obtendo a densidade máxima do solo (Dmáx) e a umidade ótima de compactação (UOC). A partir do solo coletado a campo foi determinada umidade inicial para obter a quantidade de água a ser adicionada nas amostras. Foram preparadas sete amostras de 2,3 kg cada, para obter a curva de compactação, após a umidade inicial determinada foi acrescentada uma porcentagem de água lentamente em cada amostra, variando 2% a umidade entre essas, acondicionou-se essas em sacos plásticos e deixou-as em repouso por 24 horas.

O ensaio de Proctor foi iniciado com a realização da compactação de cada amostra em um cilindro metálico de aproximadamente 1000 cm³, em três camadas, utilizando 26 golpes do compactador ABNT (NBR 7182/86) de 2,5 kg em cada camada, caindo de uma altura de 30,5 cm, correspondendo a uma energia de 560 kPa. Ao final da compactação foram retiradas três subamostras para determinação da umidade do solo, colocando-as secar em estufa 105 °C para obtenção da umidade gravimétrica do solo (Ug).

Por meio dos valores de Ug e Ds encontrados, foi gerado uma equação polinomial de segundo grau, para assim a partir dos

parâmetros empíricos obter a densidade máxima e umidade ótima de compactação com o auxílio das equações 4 e 5 (KLEIN, 2014).

$$D_{\text{máx}} = \frac{-b^2 + 4ac}{4a} \quad (4)$$

$$U_{\text{g ótim}} = \frac{b}{-2a} \quad (5)$$

A densidade relativa (DR) do solo foi determinada pela relação das DS e D_{máx} em todas as camadas amostradas, a partir da equação 6.

$$DR = \frac{\text{Densidade do solo}}{\text{Densidade máxima do solo}} \quad (6)$$

3.5.7 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros

A porosidade total do solo foi determinada pela relação entre a D_s e a D_{ss} (equação 7). A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico do solo (KLEIN, 2014), uma vez que, os poros são classificados em três classes: macroporos (poros com diâmetro maior que 0,05 mm), microporos (poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm) e criptoporos (poros com diâmetro inferior a 0,0002 mm) (KLEIN & LIBARDI, 2002).

$$P_t = 1 - \left(\frac{D_s}{D_{ss}} \right) \quad (7)$$

Onde: P_t = porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

D_s = densidade do solo (Mg m^{-3});

D_{ss} = densidade dos sólidos do solo (Mg m^{-3}).

A determinação de cada classe dos poros foi feita por meio da aplicação de tensões crescentes, onde, os macroporos se esvaziam a aplicação de tensão de 6 kPa, os criptoporos a partir de tensão de 1.500 kPa e os microporos foram determinados através da diferença entre as tensões de 6 e 1.500 kPa (KLEIN, 2014).

O valor de criptoporos na tensão de 1500 kPa foi estimado pelo teor de argila do solo, por meio da equação $\text{PMP (g g}^{-1}) = 0,0003 * \text{argila (g kg}^{-1}) + 0,0118$, sugerida por Klein et al. (2010) e multiplicado pela D_s para transformar o valor em volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

A porosidade de aeração (PA) foi estabelecida pela subtração de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ de poros vazios de água, aeração mínima, da porosidade total do solo.

3.5.8 Resistência mecânica do solo à penetração

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi realizada em laboratório, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de $0,17 \text{ mm s}^{-1}$, equipado com uma célula de carga de 200 N, e haste com cone de 4 mm de diâmetro de base ($12,56 \text{ mm}^2$) e semi-ângulo de 30° , coletando um dado a cada segundo. Esse possui um receptor e interface acoplado a um microcomputador para

coleta dos dados através de um software próprio do equipamento. As determinações foram feitas em amostras com estrutura preservadas submetidas a diferentes tensões (0; 1; 3; 6; 8; 14; 100; 300 kPa), após essas terem atingido o equilíbrio hídrico no potencial de 300 kPa foi determinada a RP. Na determinação da RP foram utilizadas 48 amostras recém retiradas das Câmaras de Richards na tensão de 300 kPa e 48 amostras que ficaram 24 horas em repouso após serem retiradas das Câmaras. Para cada amostra foram obtidos 250 valores e utilizados cerca de 200 valores centrais. Os valores de RP foram ajustados a um modelo não-linear proposta por Busscher (1990), que ajusta a RP em relação a D_s e a umidade volumétrica do solo (θ) (equação 8). Para o componente floresta os parâmetros de ajuste foram $a = -1,02371$; $b = 1,64261$; $c = -1,76273$ e para o componente lavoura foram $a = -1,50591$; $b = 0,27671$ e $c = -2,57171$.

$$\ln RP = a + b * \ln D_s - c * \ln \theta \quad (8)$$

Onde: a, b e c são parâmetros empíricos;

D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3});

θ = umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

3.5.9 Consistência do solo

A consistência do solo foi determinada por meio dos limites de Atterberg, consistindo na determinação do ponto de umidade do solo (g g^{-1}) na transição de um estado de consistência e

outro, conforme a metodologia descrita por Sowers (1965), Embrapa (1997) e Nogueira (1998). Determinou-se o limite plástico (LP), o limite líquido (LL) e o índice de plasticidade do solo (IP), os quais são importantes no ponto de vista de manejo para fins agrícolas.

O LP foi determinado com uso de solo seco ao ar, peneirado em peneiras de malha 0,42 mm e umedecidas 24 horas de antecedência. Passada 24 horas moldou-se amostra na forma de um cilindro (rolinho), que se fracture atingindo aproximadamente 3 mm de diâmetro. Cada amostra consistiu de quatro repetições, essas ao fim do processo foram levadas a estufa a 105 °C por 24 horas para determinação de sua umidade gravimétrica (g g^{-1}).

O LL foi delimitado com auxílio do aparelho de Casagrande, foi utilizado aproximadamente 30 g de solo, umedecido 24 horas após a determinação do limite plástico, para formar uma camada de 10 mm de altura. Foi efetuada uma fenda nessa amostra de solo acionando o dispositivo, contando o número de batidas até as paredes laterais tocarem-se numa extensão de 12 mm, o movimento foi cessado e retirou-se uma subamostra para determinação da U_g (g g^{-1}). O número de batidas não deve ser inferior a 12 e nem superior a 38, para que seja válida a subamostragem. Com os dados de U_g é gerado um gráfico para cada amostra, obtendo uma equação para determinar a U_g na batida número 25.

O IP do solo foi estabelecido por meio da equação 9.

$$IP = 100 * (LL - LP) \quad (9)$$

Onde: IP = índice de plasticidade do solo (%);

LL = limite líquido (g g^{-1});

LP = limite plástico (g g^{-1}).

3.5.10 Estabilidade dos agregados

A estabilidade dos agregados foi avaliada com o uso de um equipamento de peneira oscilante em água. As amostras coletadas a campo foram peneiradas em peneiras malha de 7,93 mm e 4,75 mm, o solo retido na última peneira foi utilizado na avaliação.

Na determinação da classe dos agregados, foi pesado aproximadamente 50 g de solo e colocado em um conjunto de quatro peneiras de malhas 4,75; 2; 1 e 0,212 mm, imersas em água por 15 minutos de oscilação. Ao término do tempo, o solo retido em cada peneira foi retirado e seco em estufa 105 °C para determinação da massa de solo seco.

Esse conjunto de quatro peneiras originam cinco classes, conforme o diâmetro médio dos agregados, 6,34; 1,5; 0,606 e 0,106 mm, uma vez que, a massa da última classe foi obtida através da diferença em relação à massa de solo seco colocada no início da avaliação. Essas classes foram utilizadas para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA) com auxílio das equações 10, 11 e 12, respectivamente.

$$\text{DMP} = \frac{\sum(x_i * w_i)}{\sum w_i} \quad (10)$$

$$DMG = EXP \frac{\sum (w_i * \log x_i)}{\sum w_i} \quad (11)$$

$$IEA = 100 * \left(\frac{ms - wp_{21} - areia}{ms - areia} \right) \quad (12)$$

Onde: w_i = massa de solo seco em cada classe (g);

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

ms = massa total da amostra seca (g);

wp_{21} = peso dos agregados < 0,21 mm (g).

Areia = areia total (g)

3.5.11 Água no solo

A umidade do solo no campo foi delimitada com base de massa pelo cálculo da umidade gravimétrica (U_g) (equação 13), qual é a relação da quantidade de água compreendida num solo à sua massa de solo seco. As amostras de solo coletadas a campo foram pesadas úmidas e secadas em estufa 105 °C até atingir massa constante, obtendo a massa seca do solo.

Para demonstrar a variação da umidade do solo nos dois dias de amostragem foi determinada a umidade volumétrica do solo (θ) ($m^3 m^{-3}$), a qual considera a D_s e a densidade da água (D_a) em seu cálculo (equação 14). A determinação da U_g não considera o volume do solo que o sistema radicular das plantas terá disponível para extrair água, para obter o real armazenamento de água.

$$U_g = \frac{\text{massa da água (g)}}{\text{massa de solo seco (g)}} \quad (13)$$

$$\theta = U_g * \left(\frac{D_s}{D_a}\right) \quad (14)$$

Onde: U_g = umidade gravimétrica (g g^{-1});

θ = umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

D_s = densidade do solo (Mg m^{-3});

D_a = densidade da água (Mg m^{-3}).

3.5.12 Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo foi determinada por meio dos funis de placas porosas (Funis de Haines), utilizando tensões até 14 kPa, e para as tensões superiores fez-se uso de painéis de pressão com placas porosas (Câmaras de Richards).

Para conduzir as amostras aos funis de Haines, primeiro essas foram saturadas em bandejas por meio de uma lâmina de água com elevação gradual. As amostras foram submetidas em tensões de 1; 3; 6; 8; 14; 100 e 300 kPa; até que o fluxo de água cessasse, atingindo equilíbrio da energia da água.

O teor de água em função do potencial mátrico foi ajustado em planilha Excel com o auxílio da ferramenta Solver utilizando o método dos desvios dos quadrados mínimos, para a obtenção dos parâmetros empíricos de ajuste α , m , n , e fixando o θ_s no valor correspondente à porosidade total e θ_r como valor da umidade

volumétrica a tensão de 1500 kPa, estabelecida pelo teor de argila do ponto de murcha permanente (PMP) por meio da equação $PMP (g\ g^{-1}) = 0,0003 * \text{argila} (g\ kg^{-1}) + 0,0118$, sugerida por Klein et al. (2010), e o valor foi transformado em volume ($m^3\ m^{-3}$).

Dessa forma, tornou-se possível à obtenção de uma curva característica de retenção de água no solo, podendo determinar o teor de água no campo e o potencial mátrico de água no solo na condição.

3.5.13 Análise estatística

Os resultados das propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e da matéria orgânica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Textura do solo

A análise granulométrica foi realizada com fins de caracterização do local de instalação do experimento (Tabela 1), uma vez que a textura do solo possui baixa variabilidade espacial e caracteriza-se como a propriedade física que menos sofre alterações de preparo e manejo do solo.

O resultado médio dos teores de argila, silte e areia, apresentaram pequena variação entre os componentes, pelo fato da textura ser uma característica inerente ao solo. O teor de argila aumentou em profundidade e o silte e a areia diminuíram, com predominância das frações de areia média e fina em ambos os componentes.

Tabela 1 – Teores de argila, silte e areia total (AT), areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), e areia muito fina (AMF) em sistema de ILPF, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Manejo | Camada (cm) | g kg ⁻¹ | | AT | Areia % | | | | |
|----------|-------------|--------------------|-------|-----|---------|----|----|----|-----|
| | | Argila | Silte | | AMG | AG | AM | AF | AMF |
| Floresta | 0-5 | 473 | 145 | 382 | 6 | 8 | 26 | 48 | 11 |
| | 5-10 | 481 | 139 | 381 | 2 | 8 | 30 | 48 | 13 |
| | 10-15 | 503 | 141 | 356 | 2 | 6 | 32 | 47 | 13 |
| | 15-20 | 537 | 141 | 322 | 4 | 6 | 26 | 51 | 13 |
| | 20-25 | 565 | 138 | 297 | 1 | 7 | 28 | 51 | 14 |
| | 25-30 | 575 | 142 | 282 | 1 | 9 | 30 | 48 | 13 |
| | 30-35 | 568 | 139 | 293 | 1 | 5 | 27 | 53 | 13 |
| | 35-40 | 607 | 134 | 259 | 1 | 7 | 27 | 51 | 15 |
| | Média | 539 | 140 | 322 | 2 | 7 | 28 | 50 | 13 |
| | Lavoura | 0-5 | 479 | 162 | 360 | 4 | 10 | 30 | 45 |
| 5-10 | | 497 | 145 | 358 | 1 | 6 | 34 | 49 | 10 |
| 10-15 | | 494 | 130 | 376 | 1 | 7 | 32 | 48 | 12 |
| 15-20 | | 514 | 127 | 359 | 1 | 8 | 32 | 48 | 10 |
| 20-25 | | 546 | 138 | 316 | 1 | 6 | 29 | 51 | 13 |
| 25-30 | | 517 | 138 | 346 | 2 | 10 | 31 | 47 | 10 |
| 30-35 | | 576 | 140 | 284 | 1 | 10 | 33 | 48 | 9 |
| Média | 597 | 132 | 271 | 1 | 4 | 27 | 54 | 14 | |
| Média | 527 | 139 | 334 | 2 | 8 | 31 | 49 | 11 | |

*Média de seis repetições.

4.2 Matéria orgânica

Para a matéria orgânica (MO) não houve diferença entre os componentes avaliados, somente foi observada diferença entre as camadas de solo amostradas (Figura 5). Na média das camadas amostradas, os valores reduzem com o aumento da profundidade no perfil do solo. Esse fato é justificado pelo maior aporte de restos vegetais e de raízes das plantas nas camadas superficiais, consistindo em uma característica inerente ao solo.

O maior valor de MO foi observado na camada de 0-0,05 m, como esperado, diminuindo gradativamente em profundidade, porém mantendo-se maior que 20 g kg^{-1} até a camada 0,10-0,15 m, pelo fato de ocorrer maior concentração do sistema radicial da pastagem e a contribuição dos resíduos vegetais das folhas de eucalipto (VILELA & MENDONÇA, 2013). Valores esses também foram encontrados por Freitas et al. (2013) em avaliação de diferentes agroecossistemas, que afirmaram o maior aporte de MO pelo fato da constante quantidade de serapilheira encontrada na superfície do solo e, concordam com Prevedello et al. (2013), que avaliou somente a floresta de eucalipto com 3 anos de idade, assegurando o grande aporte de MO resultante da decomposição desses resíduos pela fauna microbiológica.

Os valores não significativos entre os componentes não são sinônimos de degradação desse solo, concordando com Neves et al. (2007) que relataram a redução da MO na passagem de mata nativa para um sistema agrossilvipastoril (integração lavoura-pecuária-

floresta), atribuindo esse fato ao revolvimento do solo para diante do preparo desse para implantação do sistema, acelerando a decomposição da MO.

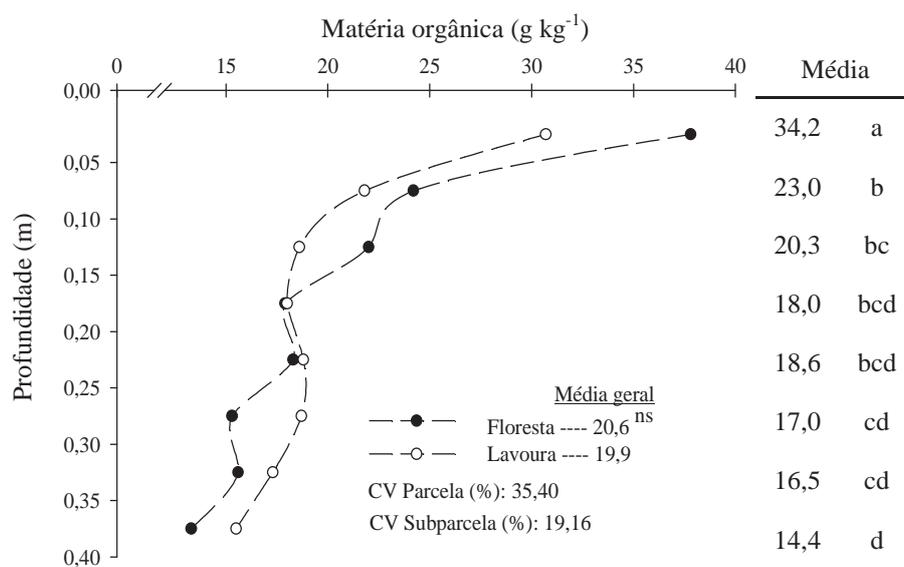


Figura 5 – Teor de matéria orgânica em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Os resultados de MO foram inferiores do observado por Sousa Neto et al. (2014), contudo esses autores relataram que o sistema ILPF não diferiu no teor de carbono orgânico em relação a integração lavoura-pecuária e a mata nativa, afirmando que são necessárias avaliações ao longo dos anos. Os sistemas de produção que favorecem o aumento de teores de MO no solo são os melhores para recuperação de áreas degradadas e manutenção da qualidade

física do solo, pelo fato da MO influenciar a maioria dos atributos físicos, principalmente relacionados a estrutura do solo (CRUZ et al., 2014).

4.3 Argila dispersa em água e índice de floculação

A argila dispersa em água (ADA) não apresentou diferença significativa entre os componentes e as camadas de solo amostradas (Figura 6). Contudo, na média das camadas de solo amostradas houve aumento da ADA em profundidade no perfil do solo, estando relacionada com a redução do teor de matéria orgânica (MO) (Figura 5), concordando com Freitas et al. (2013) que observaram o mesmo fenômeno.

Na camada de 0-0,05 m foi observado o menor valor de ADA, também relacionado ao maior aporte de matéria orgânica nessa camada, uma vez que, a dispersão da argila no solo é ocasionada por instabilidade estrutural ou manejos inadequados, essa redução é um efeito benéfico da MO no sistema na disponibilização de cargas elétricas (AGNE & KLEIN, 2014).

Além de a ADA apresentar relação negativa com a MO, essa possui relação positiva com o teor de argila total do solo, conforme Maia et al. (2006). Porém, Silva et al. (2011a), não observaram diferenças entre sistemas agroflorestais analisados e floresta nativa quanto aos valores de ADA, somente encontraram diferença para o índice de floculação, discordando dos resultados desse estudo.

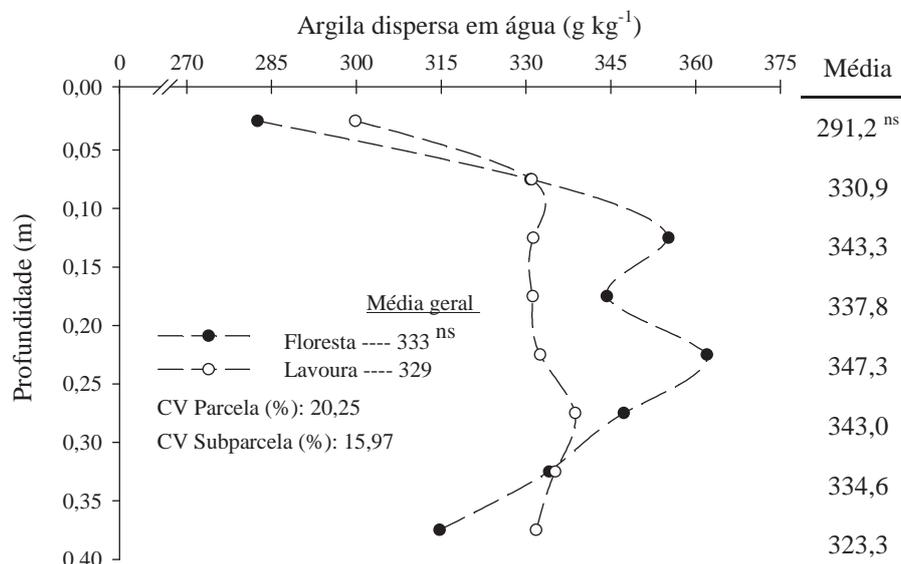


Figura 6 - Teor de argila dispersa em água (ADA) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

O índice de floculação (IF) na média não apresentou diferença significativa entre os componentes. Nas camadas de solo amostradas foram observados maiores valores em profundidade (> 0,20 m) e na camada de 0-0,05 m (Figura 7). Estando parcialmente de acordo com os valores de IF encontrados por Freitas et al. (2013), que afirmaram aumento de IF nas camadas superficiais do solo. Desse modo, maiores valores de IF também estão correlacionados a MO, de forma positiva, assim justificando o maior valor na camada de 0-0,05 m.

As camadas > 0,20 m apresentaram maiores valores de IF, esses podem ocorrer pelo fato de maiores concentrações de Al em

profundidade, qual possui grande poder flocculante (FERREIRA, 2010). Além disso, os valores menores de IF entre as camadas de 0,05-0,20 m podem ser justificados pela redução do teor de MO com a profundidade do perfil do solo ou é um resultado de natureza mecânica, desde o preparo do solo (TAVARES FILHO et al., 2010).

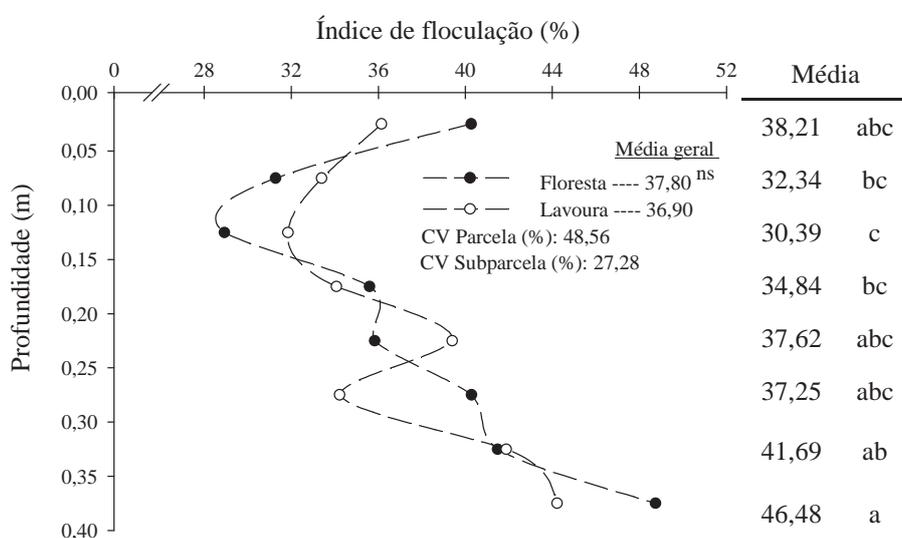


Figura 7 - Índice de flocculação (IF) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

4.4 Densidade dos sólidos do solo

Os valores de densidade dos sólidos do solo (Dss) não apresentaram diferença entre os componentes e as camadas de solo amostradas (Figura 8). A redução do valor de Dss está relacionada

com o teor de matéria orgânica, essa possui valores baixos de Dss, entorno de 0,6 a 1,0 Mg m⁻³ (KIEHL, 1979), ocasionando redução da Dss do solo em camadas superficiais. Entretanto, no presente estudo não foi observada essa relação com a MO.

Valores de Dss do solo, acima de 2,65 Mg m⁻³, valor referência para solos brasileiros, pode ser relacionado as diferentes composições mineralógicas do solo.

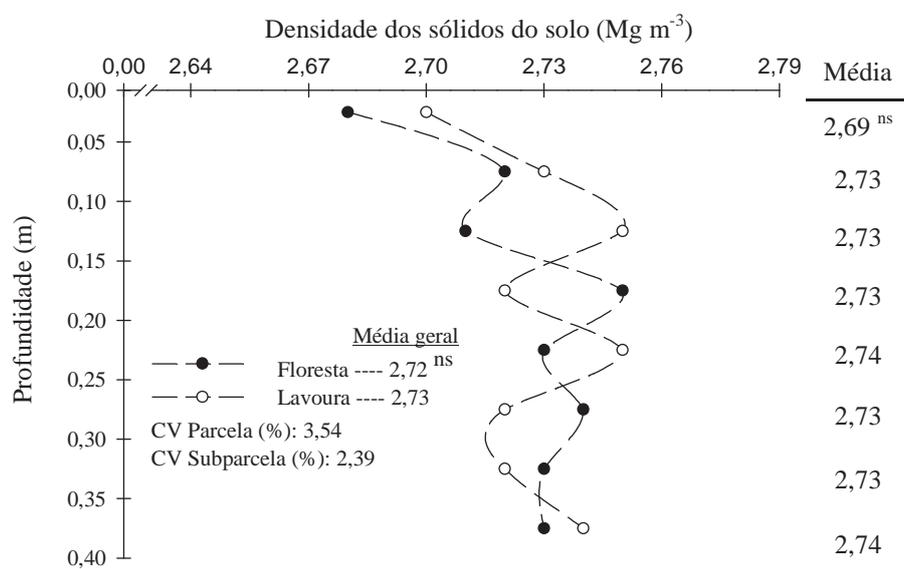


Figura 8 - Densidade dos sólidos do solo (Dss) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

4.5 Densidade do solo

Para a densidade do solo (Ds) não foi constatada diferença significativa entre os componentes. Porém, nas camadas de solo

amostradas houve diferença, com diminuição da Ds em profundidade (Figura 9). As camadas de 0-0,20 m foram as que apresentaram maior Ds.

Os valores de Ds observados nas camadas citadas discordam de Mota et al. (2012), que encontraram valores menores de Ds na camada superficial, tanto em áreas com cultivo de eucalipto (20 anos de idade), quanto de pousio de área agrícola, culturas anuais e mata nativa. Esses autores ainda expõem que a maior Ds na camada de 0-0,1 m esteve no cultivo de eucalipto com 1 ano de idade e que essa reduziu na camada de 0,1-0,20 m. Assim, concordando com Suzuki et al. (2012) que relataram menor variação de Ds no perfil do solo para um povoamento de eucalipto de 20 anos em relação à de 4,5 anos.

Do mesmo modo, Silva et al. (2014a), relataram em avaliação de diferentes usos e manejos do solo, que o sistema ILPF apresentou menor Ds na camada de 0-0,20 m em relação a camada de 0,20-0,40 m, porém, essa não diferiu do Cerrado e das culturas anuais. Prevedello et al. (2013) também encontraram menores valores de Ds na camada superficial em cultivo de eucalipto, concordando com demais autores e discordando dos resultados observados nesse estudo.

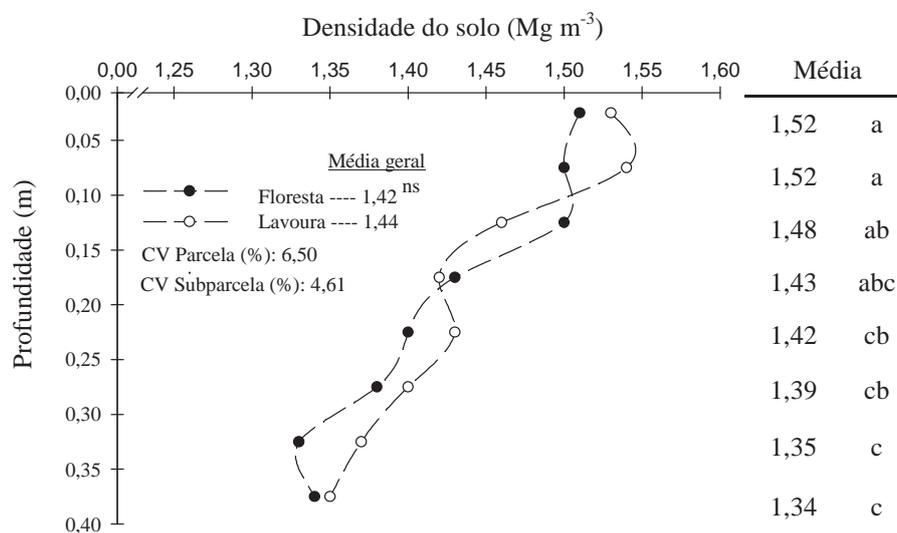


Figura 9 - Densidade do solo (Ds) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Em avaliação de sistemas integrados com pastejo em comparação com mata nativa, Sousa Neto et al. (2014), observaram aumento da Ds nos dois sistemas avaliados (ILPF e ILP) na camada 0-0,10 m, não havendo diferença entre os mesmos e similar aos resultados desse estudo. Porém, na camada de 0,10-0,20 m a ILPF apresentou maior Ds em relação à ILP e mata nativa (SOUSA NETO et al., 2014).

Contudo, Neves et al. (2007) relataram que em avaliação de sistema agrossilvipastoril, houve aumento da Ds nas camadas superficiais do solo em decorrência do pisoteio dos animais e tráfego de máquinas para o preparo do solo na sucessão de culturas. Porém, os

mesmo autores afirmaram que os valores encontrados de D_s permaneceram dentro da faixa considerada não restritiva.

A D_s apresentou valores superiores na camada superficial (0-0,20 m), indicando maior adensamento das partículas do solo em relação às demais camadas, sem diferenças entre manejos. Esse adensamento pode ser resultado do pouco tempo de implantação do sistema, do pisoteio animal e do tráfego de máquinas, como alguns autores relataram.

4.6 Densidade máxima do solo e umidade ótima de compactação

As equações de ajuste obtidas para a densidade máxima do solo ($D_{máx}$) e a umidade ótima de compactação (UOC), nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, demonstraram coeficiente de determinação (R^2) alto, representando 80 à 96% o ajuste da curva dos valores observados de D_s em função da umidade gravimétrica do solo (U_g) (Tabela 2). Os valores de $D_{máx}$ e UOC apresentaram baixa variação entre os componentes e as camadas de solo amostradas.

A $D_{máx}$ é a densidade que esse solo atinge a máxima compactação, para aquela energia aplicada quando realizados preparos do mesmo na UOC. Essa é considerada a umidade péssima para realização de trabalhos com uso de máquinas agrícolas e pastoreio animal, pelo fato dessa condição proporcionar fácil ocorrência de alterações da estrutura do solo quando as cargas forem semelhantes às utilizadas no ensaio de Proctor (KLEIN, 2014).

Tabela 2 - Densidade máxima do solo ($D_{m\acute{a}x}$) (Y) e umidade ótica de compactação (UOC) (x) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Manejo | Camada (m) | Equações de ajuste | R^2 | $D_{m\acute{a}x}$ | UOC |
|--------|------------|------------------------------|-------|-------------------|-------------|
| | | | | $Mg\ m^{-3}$ | $g\ g^{-1}$ |
| CF | 0-0,2 | $Y=-28,022x^2+13,500x-0,084$ | 0,96 | 1,54 | 0,24 |
| | 0,2-0,4 | $Y=-39,190x^2+19,568x-0,907$ | 0,80 | 1,53 | 0,25 |
| CL | 0-0,2 | $Y=-36,584x^2+17,662x-0,577$ | 0,93 | 1,55 | 0,24 |
| | 0,2-0,4 | $Y=-26,024x^2+13,210x-0,148$ | 0,90 | 1,52 | 0,25 |

Os valores de $D_{m\acute{a}x}$ na camada de 0-0,20 m encontram-se próximos dos encontrados por Beutler et al. (2005) e são menores dos visualizados por Freddi et al. (2007) em solos de textura argilosa. No entanto, Loro (2013) observou valores menores de $D_{m\acute{a}x}$ ($1,49\ Mg\ m^{-3}$) e maiores de UOC ($0,26\ g\ g^{-1}$) em um Latossolo Vermelho de textura argilosa sob sistema agroflorestal.

Os maiores valores de $D_{m\acute{a}x}$ e menores de UOC observados na camada de 0-0,20 m, são resultantes da variação do teor de argila total no solo que sobressaiu o efeito da MO, assim não havendo influência da mesma nesses valores (BRAIDA et al., 2006).

A compactação do solo é agravada quando a UOC encontra-se dentro da condição friável do solo, abaixo do limite de plasticidade do mesmo. A umidade do solo na condição friável é caracterizada como ideal para realização de operações de preparo e manejo do solo. Dessa maneira, deve-se evitar a realizações de

operações agropecuárias quando a UOC estiver nessa condição de consistência do solo, evitando a máxima compactação do solo.

4.7 Densidade relativa

A densidade relativa (DR) é utilizada como um indicador da qualidade física do solo, indicando o nível de compactação. Os valores observados não apresentaram diferença entre os componentes (Figura 10). Houve diferença somente entre as camadas de solo amostradas, reduzindo a DR com o aumento da profundidade, os valores variaram entre 0,88 e 0,98. Valores esses próximos dos encontrados por Loro (2013) em avaliação de sistema agroflorestral, que justifica os mesmos pelo fato do pisoteio animal e poucos anos de implantação do sistema (três anos).

Os valores de DR são considerados impeditivos ao desenvolvimento das culturas acima da camada de 0,25-0,30 m (Figura 11). De acordo com Marcolin (2009), valores de DR de 0,90-0,95 são indicativos de solo compactado e $> 0,95$ de solo muito compactado. Na camada de solo amostrada $> 0,30$ m o solo apresentou $DR < 0,90$, encontrando-se entre 0,80-0,90 que são valores indicativos de solo não compactado (MARCOLIN, 2009). Contudo, em nenhuma das camadas de solo amostradas foi obtido valor de $DR < 0,80$, que são indicativo de alta porosidade de aeração, solo solto (BEUTLER et al., 2005) que também prejudica o crescimento das plantas.

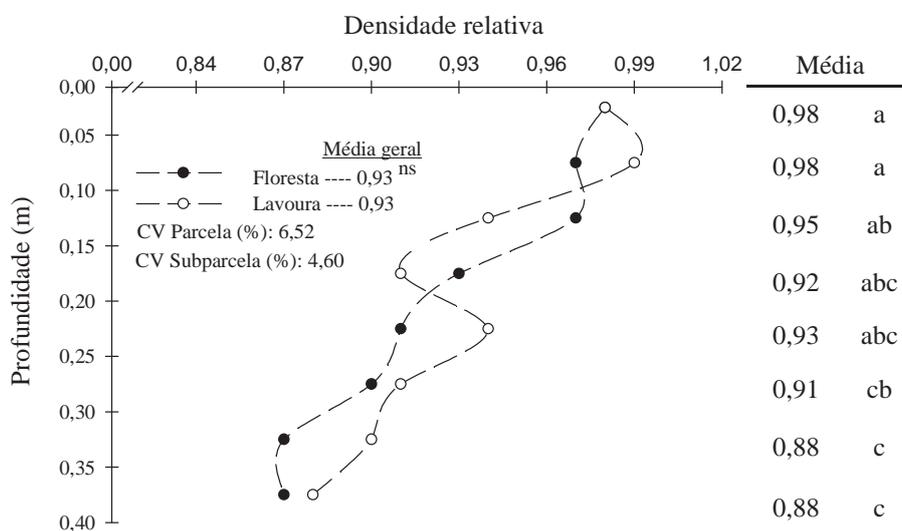


Figura 10 - Densidade relativa do solo (DR) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. ^{ns}Não significativo a 5 % de significância.

A partir dos valores de DR apresentados nas camadas de solo amostradas, em ambos os componentes o solo é considerado como muito compactado nas camadas < 0,10 m, com valores de DR > 0,95, encontrando-se próximo a 1, considerado como condição ótima para construção de estrada.

Contudo, Suzuki et al. (2012) afirmaram que em áreas florestais a compactação é maior em profundidade, pelo fato do maior tráfego durante a colheita. Entretanto, os mesmos ressaltaram o grande potencial do eucalipto na recuperação de áreas ao longo dos anos.

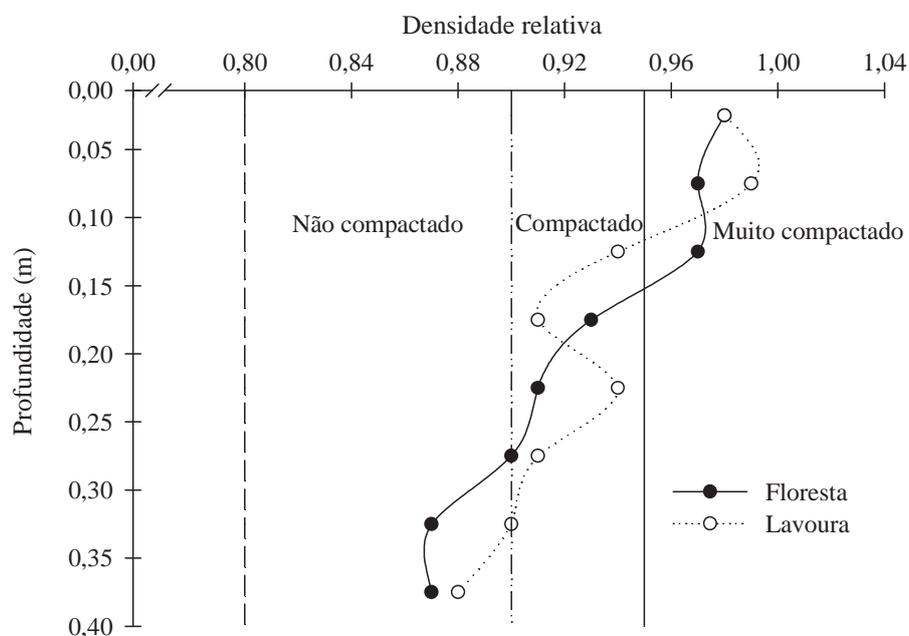


Figura 11 - Densidade relativa do solo (DR) em sistema ILPF, nos componentes floresta e lavoura e na camada de solo amostrada, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014.

4.8 Porosidade total do solo e distribuição do diâmetro dos poros

A porosidade total do solo (P_t) não apresentou diferença entre os componentes, somente entre as camadas de solo amostradas, com valores aumentando em profundidade (Figura 12). Os valores de P_t encontrados na média dos componentes foram menores que $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, que é considerado ideal aos desenvolvimento das plantas. As camadas de solo de 0-0,10 m demonstraram o menor valor de P_t , acarretada pela compactação do solo e pelo maior valor de D_s (Figura 9).

Esses valores são próximos dos encontrados por Loro et al. (2013) sob sistema agroflorestal nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m (0,46 e 0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e por Loss et al. (2014) sob sistema silvipastoril (0,45 e 0,46 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. Os últimos autores concluem que a introdução de florestas de eucalipto consorciada com pastagem favorece o aumento da porosidade total em relação a áreas de pastagem nativa e lavoura.

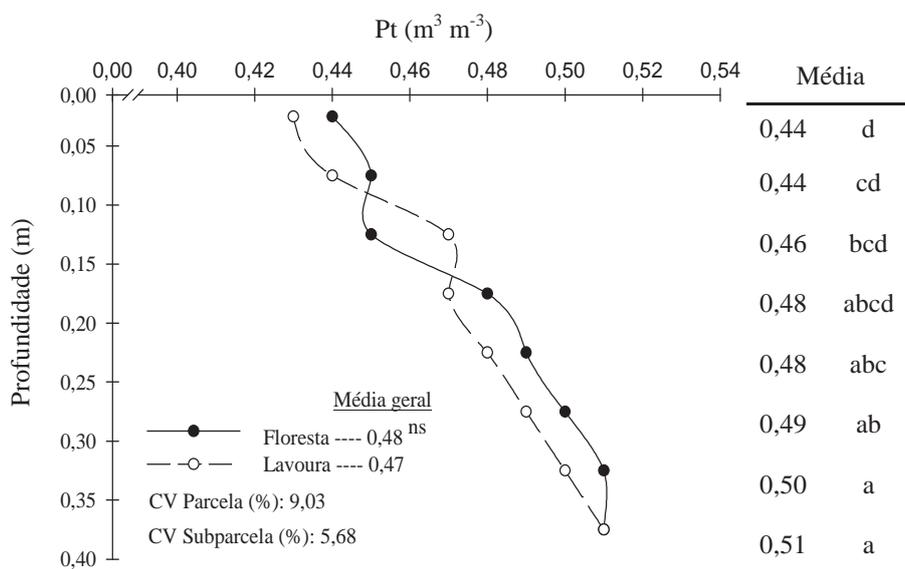


Figura 12 - Porosidade total (Pt) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Em avaliação sob sistema ILPF no Cerrado Sousa Neto et al. (2014) observaram valores acima de 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, reduzindo na camada de 0,10-0,20 m apenas para a ILPF com 357 árvores ha^{-1} .

Contudo, Silva et al. (2014a) relataram que valores de Pt encontrados sob sistema de ILPF não diferiram da área de Cerrado na camada 0,20-0,40 m, justificando-os pelo longo tempo sem revolvimento do solo.

Os valores de porosidade de aeração (PA) apresentaram o mesmo fenômeno que a Pt, isso pelo fato da PA ser $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ menor que a Pt, assim demonstrando diferença somente entre as camadas de solo amostradas.

O volume de macroporos considerado mínimo é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (REYNOLDS et al., 2002; REICHERT et al., 2003), os valores encontrados variam de $0,03$ à $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas camadas de solo amostradas. Contudo, não houve diferença significativa entre os componentes e as camadas de solo (Figura 13). Esses valores são justificados pelo modo de implantação do sistema, com subsolagem somente na linha de plantio do eucalipto e, estão relacionados aos maiores valores de Ds e DR visualizados na camada superficial (Figura 9 e 10).

A compactação do solo é o principal fator de redução de macroporos, o que afeta diversos outros fatores, tais como, a condutividade hidráulica, infiltração de água, permeabilidade do ar, entre outros. O volume de macroporos e a porosidade total são utilizados como indicadores de compactação do solo, contudo, muitas vezes a produtividade não é afetada, principalmente, pelo fato da maior continuidade de poros e da atividade biológica na superfície que pode aliviar os efeitos negativos (REICHERT et al., 2003, MOTA et al., 2012).

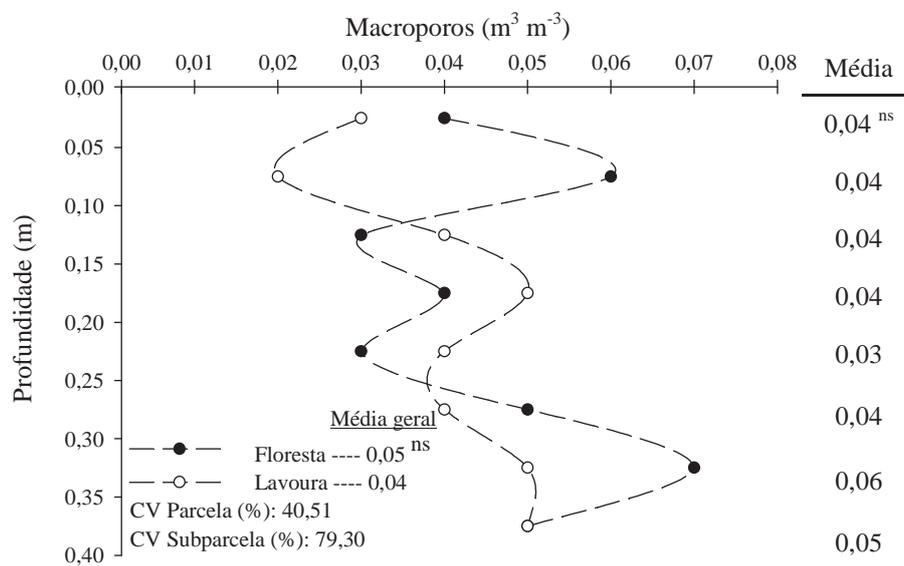


Figura 13 - Macroporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

O coeficiente de variação demonstra alta viabilidade dos macroporos, mesmo assim, na média dos componentes e das camadas de solo amostradas, os valores de macroporos são considerados críticos, menores que o ideal para uma boa aeração do solo e crescimento das raízes, pelo fato de reduzir a circulação de ar e água. Porém, esses valores são próximos dos encontrados por Sousa Neto et al. (2014), na camada de 0,10-0,20 m ($0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sob sistema ILPF com densidade de $357 \text{ árvores ha}^{-1}$.

Em sistema agroflorestal, Loro et al. (2013) observaram valores de macroporos próximos ao nível crítico, $0,10$ e $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente. Contudo, Silva et al. (2014a) relataram que o volume de macroporos não diferiu

entre o sistema ILPF e demais áreas avaliadas (Cerrado, culturas anuais e cana-de-açúcar), variando de 0,13 a 0,18 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Valores esses que diferem dos observados nesse estudo.

Para os microporos não houve diferença de volume entre os componentes, esses apresentaram diferença somente nas camadas de solo amostradas, com aumento do volume em profundidade (Figura 14). Nas camadas de 0-0,15 m o volume de microporos foi menor, acompanhando o mesmo fenômeno que ocorre para a Pt, PA e macroporos. A diminuição do volume de microporos resulta em menor lâmina de água disponível as plantas.

A variação do volume de microporos em profundidade foi baixa (0,17 – 0,20 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), estando de acordo com Mota et al. (2012) que relataram que esse tamanho de porosidade é pouco afetado pelo uso e manejo do solo, em um trabalho comparando reflorestamento de eucalipto com várias idades, culturas anuais, pastagem e floresta nativa.

Em avaliação de sistema agrossilvipastoril, Neves et al. (2007) observaram interação da microporosidade e profundidade, encontrando maiores valores na camada de 0-0,05 m, diferente do Cerrado nativo que apresentou valores maiores também na camada 0,05-0,20 m. Desse modo, diferenciando dos valores apresentados (Figura 14), com menores valores na camada 0-0,15 m, esses demasiadamente influenciados pela compactação do solo, que reduziu o seu tamanho.

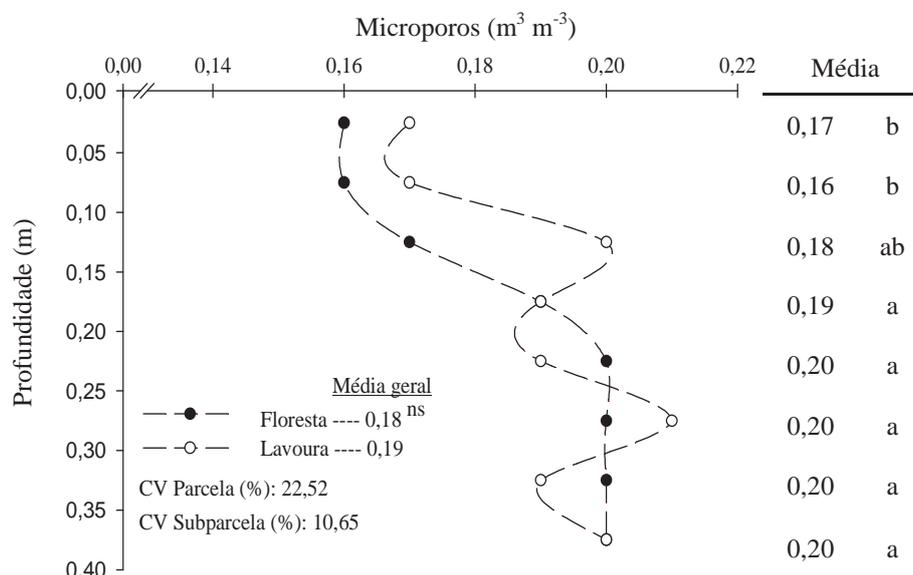


Figura 14 - Microporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Sousa Neto et al. (2014) e Loro (2013) não encontraram diferença entre camadas de solo avaliadas sob ILPF e sistema agroflorestal, somente entre os tratamentos. Na ILPF o volume de microporos foi maior em profundidade, variando de 0,34 – 0,38 m³m⁻³, com menores valores na área 357 árvores ha⁻¹ (SOUSA NETO et al., 2014). No sistema agroflorestal sob Latossolo Vermelho Eutrófico houve maiores valores no cultivo de grãos e menores no sistema agroflorestal, que não diferiu da área de floresta nativa. Concluindo que esses poros são menos afetados pelo manejo que a porosidade total e os macroporos (LORO, 2013).

Na avaliação de sistema ILPF, Silva et al. (2014a) verificaram que a maior porcentagem de microporos foi encontrada na camada de 0-0,30 m, contudo esse não diferiu do Cerrado nativo e em profundidade, apenas foi menor que a área de cana-de-açúcar, demonstrando o efeito do sistema na manutenção da porosidade.

O volume de criptoporos não apresentou diferença significativa entre os componentes e nas camadas de solo amostradas (Figura 15). Conforme aumentou a profundidade houve aumento do volume de criptoporos, ou seja, maior volume de água fica retido em profundidade nesses poros e não serão disponibilizados para as plantas. Isso concorda com Klein (1998), que relatou o aumento dos criptoporos pela ação do manejo do solo, retendo água em alta energia e não disponibilizando para as plantas.

O volume de criptoporos observado retém aproximadamente 51% da água no solo, uma vez que, nas camadas de 0-0,10 m aproximadamente 53% da água está retida nesses poros estando indisponíveis as plantas. A menor porcentagem de água retida nesses poros está na camada 0,25-0,30 m (49%). Solos argilosos possuem grande quantidade de microagregados, dessa maneira, maior volume de criptoporos.

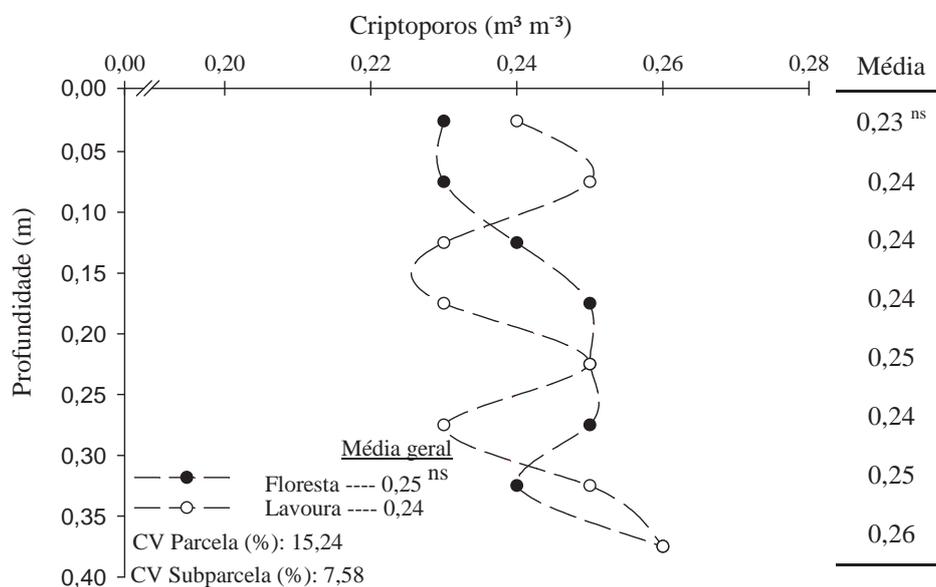


Figura 15 - Criptoporos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

4.9 Resistência mecânica do solo à penetração

Para a resistência mecânica do solo à penetração (RP) considerando valores impeditivos ao crescimento das plantas de 2 MPa (REYNOLDS et al., 2002) ou de 3 e 3,5 MPa (MORAES et al., 2014), ambos os componentes e as camadas de solo amostradas encontraram-se com valores considerados limitantes na umidade do solo na capacidade campo (CC) (Tabela 3). Houve diferença nos valores de RP para os componentes e as camadas de solo amostradas, havendo interação entre esses na umidade CC. As camadas acima de 0,15 m apresentaram os maiores valores de RP, superiores a 3 MPa, situação crítica ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas,

mesmo considerando o limite crítico de 3 e 3,5 MPa (MORAES et al., 2014).

No componente floresta, os valores observados foram superiores ao componente lavoura até a camada 0,10-0,15 m. A partir dessa camada os valores nesse componente são próximos aos da lavoura. Por vez, os menores valores foram observados no componente lavoura, variando de 2,58 a 1,8 MPa. Esses valores não são restritivos ao crescimento das plantas, ao contrário dos encontrados no componente floresta, principalmente na camada superficial (0-0,10 m) que são superiores a 3,5 MPa, podendo ser atribuídos a permanência dos animais na área sombreada, conforme relataram Araújo et al. (2013) que observaram maiores valores de RP nas áreas próximas ao eucalipto sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.

A maior RP encontrada no componente floresta também pode estar relacionada à Ds e a retenção de água no solo (Figura 9 e 28), pelo fato que esse apresentou menor retenção de água no solo na camada superficial, mesmo possuindo menor Ds o teor de água no solo determinará a maior ou menor RP.

Em avaliação de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, Ferreira et al. (2013) verificaram a intensificação da resistência à penetração nas camadas superficiais com a presença do componente arbóreo, encontrando valores próximos a 3 MPa após três anos de implantação, similares aos observados no presente estudo.

Tabela 3 - Resistência mecânica à penetração das raízes na capacidade de campo (CC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Camada (m) | Resistência mecânica à penetração (MPa) | |
|----------------|---|-------------------------|
| | Floresta | Lavoura |
| 0-0,05 | 3,7 a | 2,58 c |
| 0,05-0,10 | 3,71 a | 2,42 c |
| 0,10-0,15 | 3,3 ab | 2,33 c |
| 0,15-0,20 | 2,79 bc | 2,22 c |
| 0,20-0,25 | 2,54 c | 2,01 c |
| 0,25-0,30 | 2,5 c | 1,95 c |
| 0,30-0,35 | 2,42 c | 2,0 c |
| 0,35-0,40 | 2,32 c | 1,8 c |
| Média | 2,91 | 2,16 |
| CV Parcela (%) | 25,34 | CV Subparcela (%) 12,91 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para umidade no ponto de murcha permanente (PMP) os níveis de RP foram elevados (Figura 16), limitantes ao crescimento das plantas, apresentando diferença entre os componentes e as camadas de solo amostradas. Nas camadas de solo amostradas os valores maiores encontraram-se nas camadas superficiais, reduzindo com a profundidade do perfil do solo.

Em ambos os componentes na umidade PMP os níveis de RP são limitantes ao crescimento das plantas. Contudo, os valores de RP são superiores no componente lavoura, indicando que com o decréscimo do teor de água esse terá maior limitação ao desenvolvimento das plantas. Esses podem ser resultado de um maior

fluxo de máquinas nessa área para condução de cultivos de grãos (ARAÚJO et al., 2013). Os valores também estão relacionados à maior D_s (Figura 9) observada no componente lavoura, indicando maior RP com a redução do teor de água no solo.

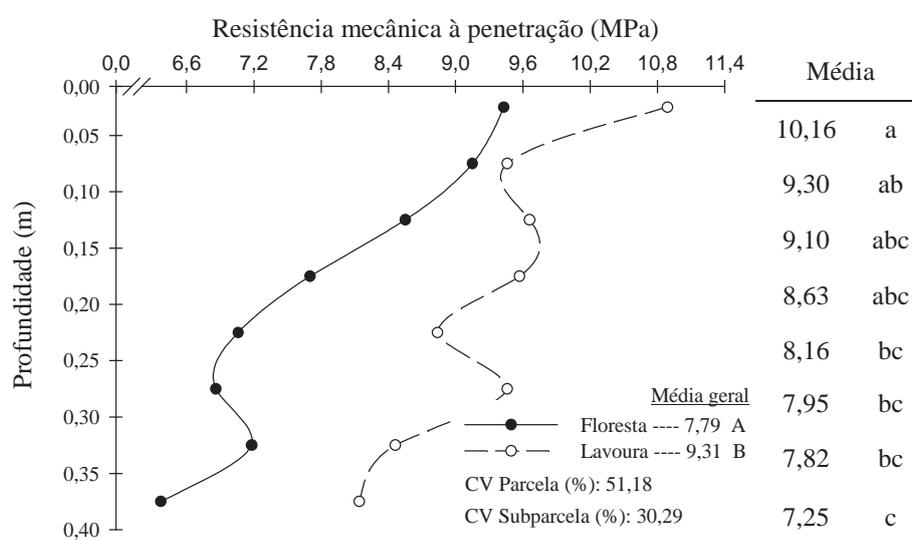


Figura 16 - Resistência mecânica à penetração das raízes no ponto de murcha permanente em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em avaliação de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta sob diferentes densidades de árvores (227 e 357 ha^{-1}) e alturas de pastejo (30 e 45 cm) no Cerrado, Sousa Neto et al. (2014) afirmaram que todos os sistemas com pastejo aumentaram a RP, com valores superiores na menor altura de pastejo. Os autores ressaltaram

que os valores observados não foram considerados restritivos ao crescimento das plantas, por se encontrarem abaixo do limite crítico.

Enfatiza-se que a planta tem capacidade de transpor a RP, dependendo da espessura da sua raiz e de sua habilidade de sintetizar substâncias mucilaginosas na coifa, que atuarão como lubrificantes auxiliando no crescimento (BENGOUGH et al., 2006).

Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta após 12 anos de implantação podem ser uma alternativa menos prejudicial à estrutura do solo, uma vez que, após a consolidação do sistema esse pode ajudar na reversão de processos de degradação (SILVA et al., 2014c). A melhoria dos indicadores de qualidade física do solo também foi salientada por Freitas et al. (2012) sob sistema agroflorestal, justificando esses resultados ao maior aporte de resíduos orgânicos e manutenção de umidade constante.

4.10 Consistência do solo

A variação do teor de água em um mesmo solo modificam a sua consistência, pelo fato dessa ser a manifestação das forças físicas de adesão e coesão do solo e da água (VASCONCELOS et al., 2010), incluindo o estado de friabilidade, plasticidade e liquidez do solo.

Na condição de limite plástico (LP) houve diferença significativa no teor de água no solo entre os componentes e as camadas de solo amostradas (Figura 17). O componente floresta apresentou maior teor de água no solo no LP, indicando que nessa condição o solo atinge rapidamente a condição de friabilidade após

saturação do mesmo (KLEIN & LIBARDI, 2001), podendo antecipar as práticas agrícolas após ocorrência de precipitação em relação ao componente lavoura. O valor superior do LP no componente floresta também pode ser resultante do acúmulo de matéria orgânica (MO), que mesmo não significativo nesse estudo, obteve média superior ao componente lavoura. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Vasconcelos et al. (2010) e Luciano et al. (2012), que observaram correlação positiva entre o teor de MO e o limite plástico.

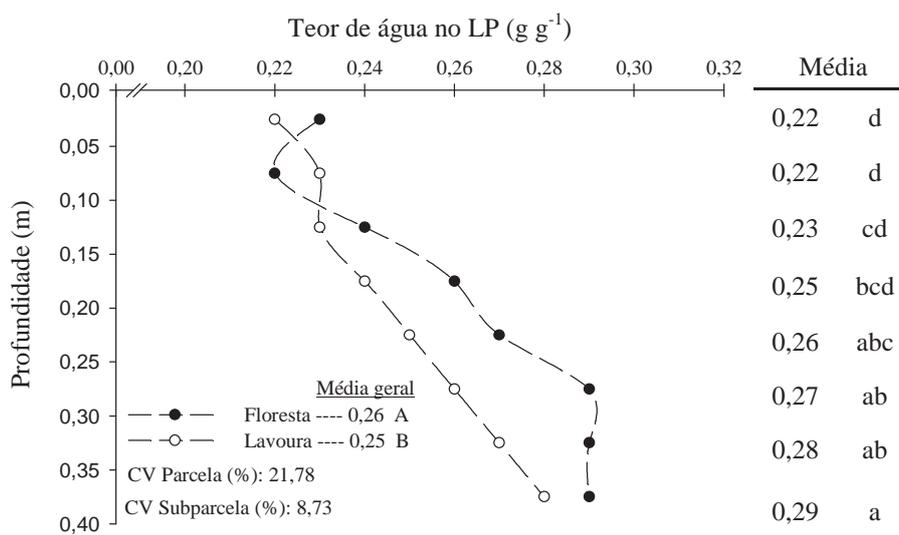


Figura 17 - Teor de água do solo no limite plástico (LP) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Nas camadas de solo amostradas os teores de água no LP aumentaram conforme o aumento da profundidade no perfil do solo, variando de 0,22 a 0,29 g g^{-1} , influenciado pelo teor de argila. Esses

valores concordam com Marcolin (2006), que relatou uma correlação positiva entre o teor de argila e o limite plástico, líquido e índice de plasticidade.

Para o teor de água no limite líquido (LL), houve diferença entre os componentes e as camadas de solo amostradas (Figura 18). Da mesma forma que para o LP, o componente floresta apresentou maior teor de água no LL e esse aumentou em profundidade no perfil do solo. O teor de água superior do LL é influenciado pelo teor de argila em profundidade e também pelo teor de matéria orgânica (MARCOLIN, 2006; VASCONCELOS et al., 2010; LUCIANO et al., 2012).

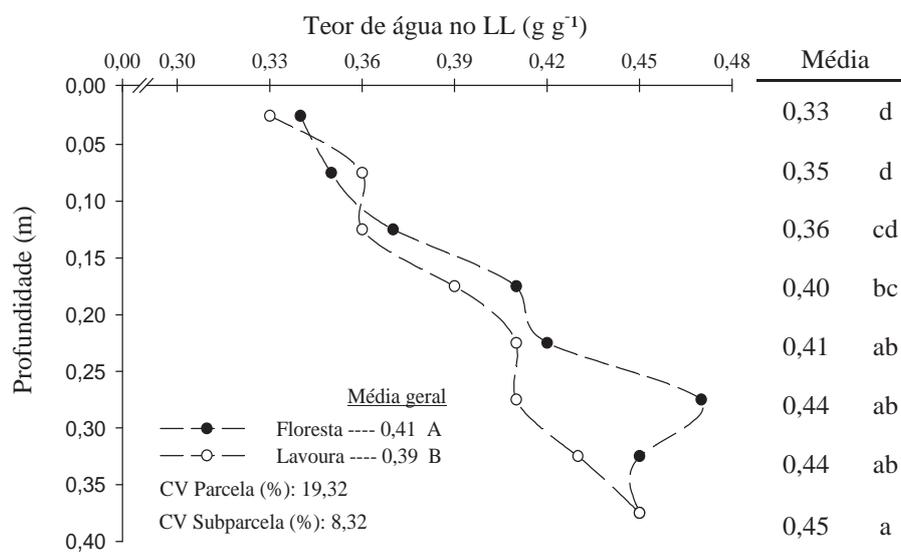


Figura 18 - Teor de água do solo no limite líquido (LL) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O índice de plasticidade (IP) do solo variou apenas em profundidade no perfil do solo, não apresentando diferença significativa entre os componentes (Figura 19). Do mesmo modo que para o limite plástico e o líquido, o teor de argila interfere nos valores de IP (MARCOLIN, 2006), devido às propriedades das partículas de argila, com maior superfície específica e capacidade de retenção de água. A partir do IP torna-se possível determinar a consistência do solo, classificando esse solo como mediamente plástico (IP 7-15) na camada superficial (0-0,10 m) e altamente plástico (IP >15) em profundidade no perfil do solo (KIEHL, 1979).

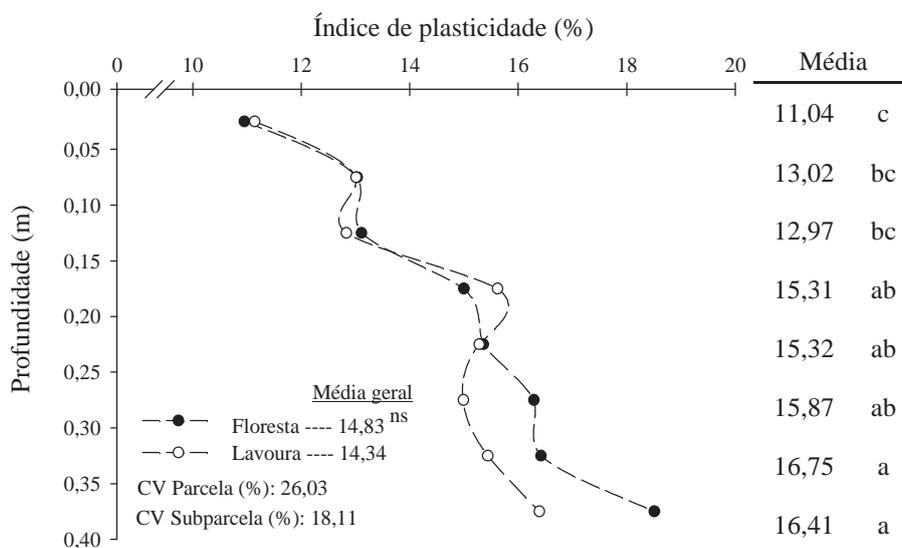


Figura 19 - Índice de plasticidade em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Contudo, a matéria orgânica não alterou o IP entre os componentes, concordando com Braida et al. (2006), que concluíram que a MO afeta apenas a demanda do teor de água para que haja a formação de camadas rígidas de moléculas de água nas superfícies coloidais adjacentes, não influenciando o teor de água extra para funcionar como lubrificante entre as camadas rígidas de moléculas de água (BAVER et al, 1972).

4.10.1 Relação UOC/Teor de água no LP

A relação da UOC e o teor de água no LP do solo (relação UOC/LP) é um indicador do teor de água no solo para realização de preparo ou manejo do solo adequado. Essa relação da UOC/LP aponta o teor de água no solo que ocasionaria maior compactação, ou seja, o teor de água em que não dever-se-ia realizar manejo ou preparo do mesmo com revolvimento.

Dessa maneira, determinar o teor de água em que os solos se tornam friável, ideal para executar preparo, é importante para definir a faixa de umidade em que poderão ser efetuados manejos que afetem o mínimo a estrutura do solo (KLEIN, 2014).

Os componentes apresentaram diferença significativa para a relação UOC/LP, do mesmo modo que houve entre as camadas de solo amostradas (Figura 20). Na presença do componente lavoura a relação UOC/LP foi superior, reduzindo esse valor em profundidade, porém mantendo a média da relação maior que 1, diferentemente do componente floresta. A relação de UOC/LP >1 indica que a UOC

encontra-se fora da faixa de umidade friável do solo, teoricamente esse solo apresentaria menores problemas de compactação (KLEIN, 2014).

Diferindo dos resultados encontrados nesse estudo, Vasconcelos et al. (2010) observaram valores da relação UOC/LP > 1 em um solo sob mata nativa, em comparação com a área irrigada e com aplicação de vinhaça, os autores concluíram que esses valores foram influenciados pelo teor de matéria orgânica. Contudo, o estudo foi efetuado em um solo de tabuleiros formados por sedimentos arenos-argilosos, em quais a MO possui maior interferência do que em solos argilosos (BRAIDA et al., 2006).

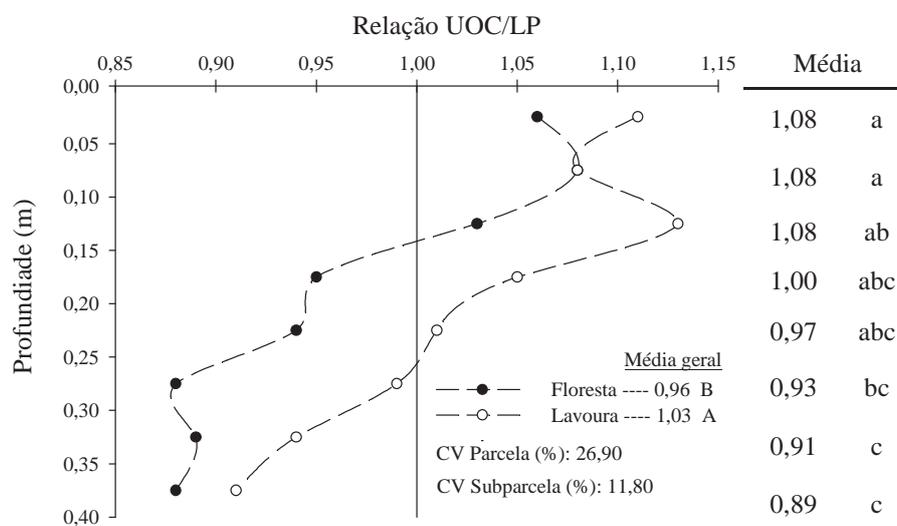


Figura 20 - Relação da umidade ótima de compactação e do limite plástico (Relação UOC/LP) e sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na média das camadas de solo amostradas a relação UOC/LP variou de 1,08 à 0,89, estando de acordo com valores encontrados por Marcolin (2006) (0,85 a 1,20) que variaram conforme o teor de argila. No entanto, a média da relação UOC/LP no componente floresta apresentou valor próximo ao obtido por Figueiredo et al. (2000) e Braida et al. (2006) de 0,90. Porém, Braida et al. (2006) ressaltaram que a relação UOC/LP no seu estudo foi influenciada pelo teor de MO sobre o teor de água no LP. Desse modo, pode-se justificar a menor relação UOC/LP apresentada no componente floresta.

Nas camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m a relação UOC/LP foi superior a 1 para os dois componentes, significando que a UOC do solo ocorrerá fora da faixa de umidade do solo considerada ideal (consistência friável) para o preparo do solo. Do mesmo modo, o componente lavoura apresentou relação UOC/LP > 1 , assegurando menor suscetibilidade a compactação desse solo quando efetuados manejos na condição friável.

No entanto, as camadas abaixo de 0,20 m apresentaram relação menor que 1, indicando que a UOC encontrou-se abaixo do teor de água no LP, na consistência friável do solo, tornando-se suscetível à compactação do solo. A relação UOC/LP mais baixa foi visualizada nas camadas de 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m.

Todavia, as camadas mais afetadas pelo manejo do solo são as superficiais, devido a maior transmissão de forças do tráfego, nas quais a relação encontrou-se acima de 1, considerada como menos

suscetível a compactação quando for realizado preparo do solo na condição friável.

Corroborando com a relação UOC/LP, o teor de água no LP no componente lavoura apresentou-se menor que a UOC até a profundidade de 0,20 m (Figura 21B). Desse modo, assegurando maiores valores da relação UOC/LP nesse componente. Além disso, o componente floresta demonstrou UOC maior que o teor de água no LP até a camada 0,10-0,15 m (Figura 21A), ou seja, até essa profundidade a UOC não se encontra na umidade friável. Resultados esses que são confirmados pela influência de altos teores de argila ou carbono orgânico total e, os maiores valores de limites de Atterberg no aumento da UOC (LUCIANO et al., 2012). Contudo, Braidá et al. (2006), em avaliação sob um Nitossolo (argiloso) encontraram UOC abaixo do teor de água no LP, justificando esse valor pela maior influência da MO no aumento do mesmo.

Confirmando o fenômeno da relação UOC/LP, em comparação do teor de água no LP e a UOC em cada componente (Figura 21), é visualizado que o teor de água no LP permanece menor que a UOC até a camada 0,20-0,25 m no componente lavoura. Por sua vez, não ocorre o mesmo para o componente floresta. Esse fenômeno é expresso pelo fato de a UOC e o LP apresentarem teores de água próximos no perfil do solo amostrado no componente lavoura, por mais que o teor de argila influencie positivamente essa relação em ambos os componentes (MARCOLIN, 2006; LUCIANO et al., 2012).

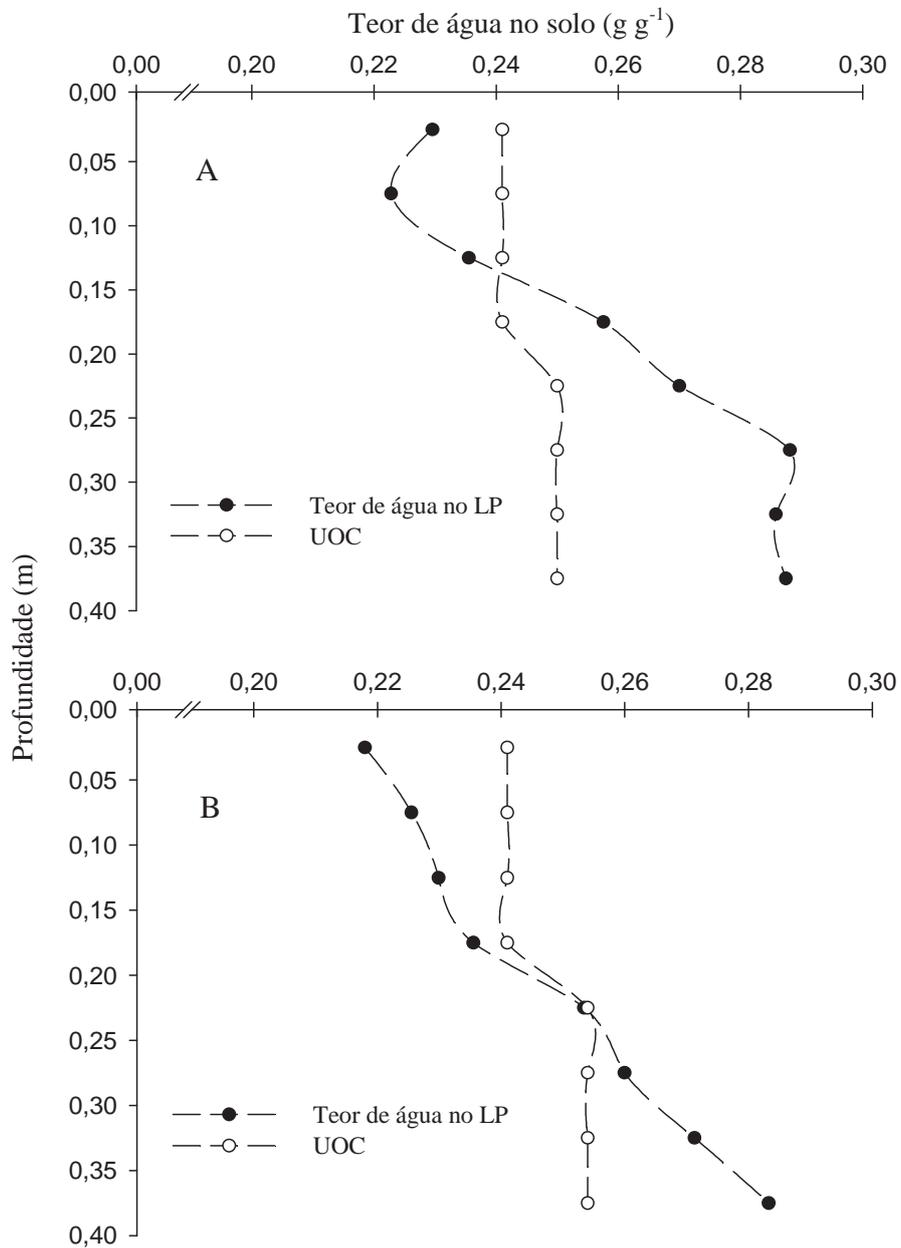


Figura 21 - Umidade ótima de compactação (UOC) e teor de água do solo no limite plástico (LP) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (A) e lavoura (B) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014.

Relacionando a diferença entre os dois componentes para a relação UOC/LP e a execução de preparos e/ou manejos desse solo ao mesmo tempo, se tratando de pastejo, se faz necessário um maior monitoramento do teor de água nos dois componentes para que esses não acarretem a degradação do solo ao longo do tempo.

4.10.2 Relação do teor de água no LL / teor de água na CC

Para relação entre o teor de água no limite líquido e o teor de água na capacidade de campo (Relação LL/CC) houve diferença entre os componentes e as camadas de solo amostradas, reduzindo a relação conforme aumento da profundidade no perfil do solo (Figura 22).

O componente lavoura apresentou maior relação LL/CC, demonstrando que o limite líquido (LL) apresenta teor de água mais distante da capacidade de campo em relação ao componente floresta. Quando o teor de água no LL for aproximado do teor na capacidade de campo esse solo estará suscetível a problemas de trafegabilidade de máquinas agrícolas e animais, pelo fato que nessa condição de umidade o solo perde as propriedades de suporte de pressões podendo a pata do animal afundar (AGNE, 2014).

Nas camadas de solo amostradas a maior relação LL/CC ocorreu na camada superficial do solo, corroborando para menores problemas de trafegabilidade no mesmo. Ou seja, quando a relação

LL/CC for menor será necessário mais dias após uma intensa precipitação para que possam ocorrer práticas agrícolas ou de pastejo.

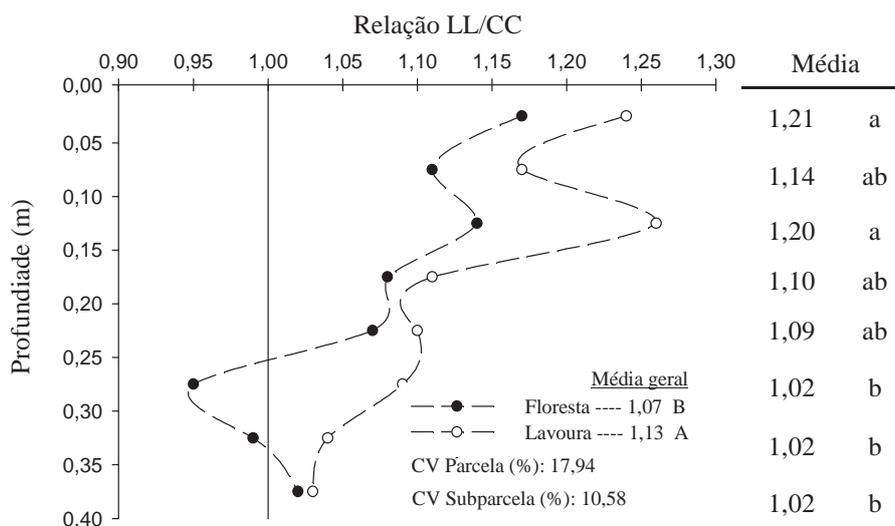


Figura 22 - Relação da umidade na capacidade de campo e do limite líquido (Relação LL/CC) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúsculas na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

No componente floresta foi observado que os valores de LL estiveram próximos ao teor de água na capacidade de campo em todo perfil do solo avaliado (Figura 23A). Contudo, no componente lavoura o teor de água o LL esta próximo do teor água na CC à medida que aumentou a profundidade do solo após a camada 0,25 m (Figura 23B), demonstrando o apresentado pela relação LL/CC.

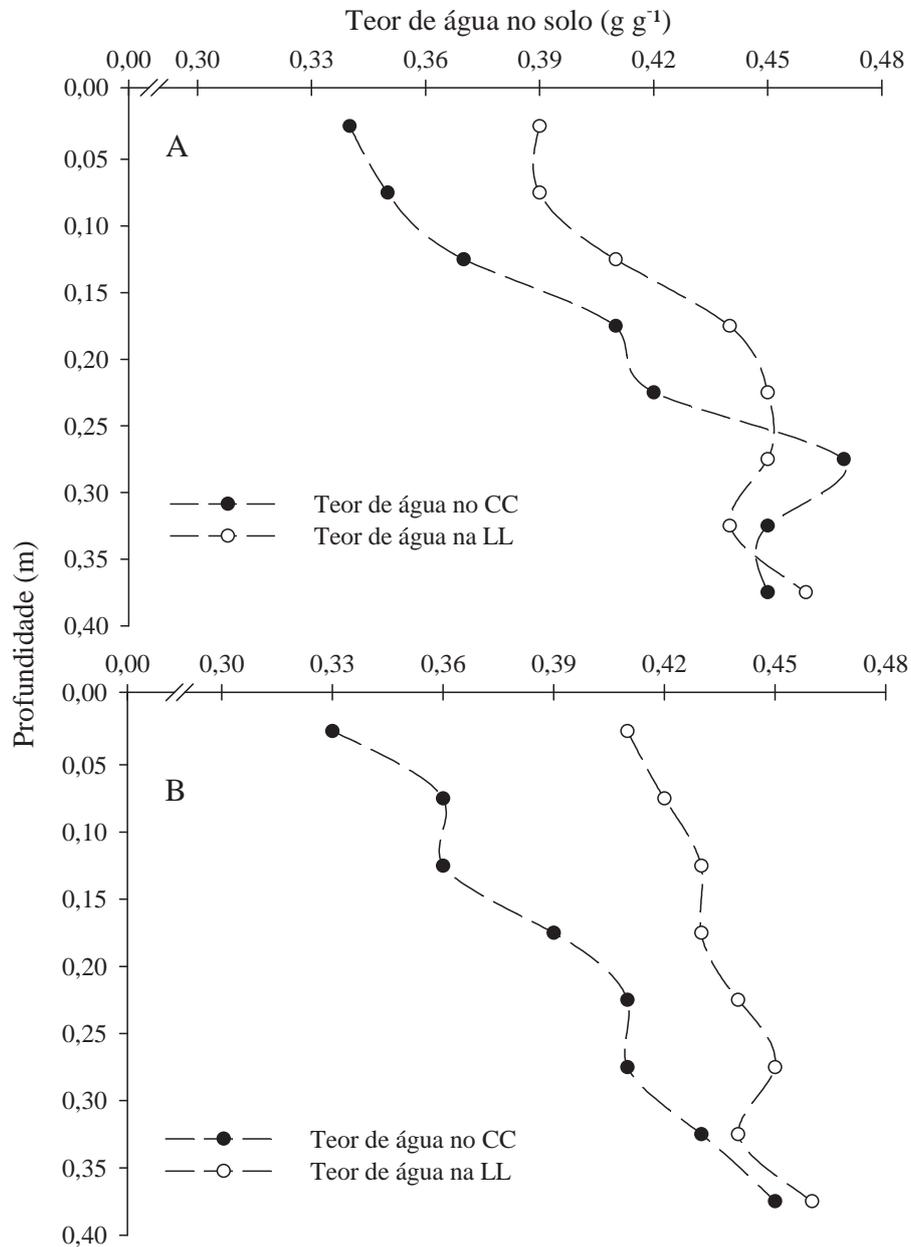


Figura 23 - Teor de água no solo na capacidade de campo (CC) e no limite líquido (LL) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (A) e lavoura (B) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014.

4.11 Estabilidade dos agregados do solo

Na mensuração da estabilidade dos agregados, o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) apresentaram diferença significativa entre os componentes e as camadas de solo amostradas (Tabela 4). Além disso, houve interação entre componentes e camadas de solo amostradas, tanto para o DMP quanto para DMG.

O componente floresta apresentou maior valor de DMP em relação à lavoura, uma vez que, as camadas de solo amostradas nesse componente apresentaram maior DMP de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, posteriormente reduzindo em profundidade e igualando as camadas de solo amostradas no componente lavoura. Valores esses similares aos encontrados por Mota et al. (2013), na camada superficial do solo (0-0,10 m) sob mata nativa, comportamento que é justificado pelo maior teor de matéria orgânica e; foram superiores aos observados por Silva et al. (2014b) sob floresta cultivada com *M. caesalpiniaefolia* (Sabiá). Contudo, são inferiores aos valores observados por Sousa Neto (2013) em sistema de ILPF com diferentes densidades de árvores ha^{-1} e alturas de pastejo, variando de 6,12 a 5,99 mm (0-0,10 m).

Tabela 4 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Camada (m) | DMP | | | | DMG | | | |
|-------------------|----------|----|---------|----|-------------------|----|---------|------|
| | Floresta | | Lavoura | | Floresta | | Lavoura | |
| | (mm) | | | | | | | |
| 0-0,05 | 3,90 | a | 2,48 | bc | 1,46 | a | 1,08 | bc |
| 0,05-0,10 | 3,25 | ab | 1,88 | c | 1,28 | ab | 0,98 | c |
| 0,10-0,15 | 2,23 | c | 1,57 | c | 1,05 | c | 0,93 | c |
| 0,15-0,20 | 1,72 | c | 1,71 | c | 0,95 | c | 0,96 | c |
| 0,20-0,25 | 1,38 | c | 1,24 | c | 0,89 | c | 0,85 | c |
| 0,25-0,30 | 1,15 | c | 1,27 | c | 0,83 | c | 0,85 | c |
| 0,30-0,35 | 1,05 | c | 1,18 | c | 0,81 | c | 0,84 | c |
| 0,35-0,40 | 1,05 | c | 1,06 | c | 0,81 | c | 0,81 | c |
| Média | 1,97 | | 1,55 | | 1,01 | | 0,97 | |
| CV Parcela (%) | 17,06 | | | | CV Parcela (%) | | | 5,80 |
| CV Subparcela (%) | 19,93 | | | | CV Subparcela (%) | | | 9,15 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula para a mesma variável na vertical e horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para o DMG ocorreu diferença da mesma forma que para o DMP, afirmando a maioria do componente floresta na estabilidade dos agregados, mesmo que esses sejam valores médios em relação a um solo de alta agregação. Os valores de DMG são superiores aos encontrados por Melloni et al. (2008) sob floresta de eucalipto com sub-bosque e inferiores aos encontrados por Sousa Neto (2013) em sistema de ILPF com 357 árvores ha⁻¹ e altura de pastejo de 15 e 30 cm. O menor DMG pode ser explicado pelo processo de

compactação do solo na camada superficial, ocorrendo formação de maior porcentagem de agregados de menor diâmetro, entretanto no presente estudo sobrepõem-se o efeito da redução da matéria orgânica, resultando na formação de microagregados (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

No componente lavoura, os valores inferiores de DMG nas camadas abaixo de 0,10 m podem ser justificados pelo processo de agregação sofrer maior influência do teor de argila em profundidade no perfil do solo, formando maior porcentagem de microagregados (DEMARCHI et al. (2011). Já, a redução do DMP em profundidade esta associada ao menor teor de matéria orgânica nessas camadas (SUZUKI et al., 2014).

Ainda, os baixos valores de DMP e DMG podem ser justificados pelo fato de haver menor distância entre renque (14 m), reduzindo a incidência solar sobre a forrageira, assim inibindo a atividade fotossintética e, o desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular, afetando a produção de exsudatos de polissacarídeos, que contribuem com a atividade microbiana, conforme relataram Sousa Neto (2013) sob sistema ILPF com 357 árvores ha⁻¹ (14 m renque), que apresentou menores valores de DMP e DMG em relação à ILPF com 227 árvores ha⁻¹ (22 m renque) e a integração lavoura-pecuária.

Desse modo, é ressaltado que o uso intensivo de solo tende a inibir a formação de agregados e, conseqüentemente, a ocorrência de habitats microbianos (MELLONI et al., 2013). Conforme esses autores comentam que o solo sob floresta de eucalipto apresentou alta estabilidade de agregados pelo fato de ocorrer menores

valores de densidade do solo em seus estudos, em relação à mata de araucária, pastagem e cultivo convencional, é enfatizado que a área do presente estudo pode alcançar melhores resultados referente à estabilidade dos agregados com a presença do componente floresta.

Confirmando o efeito da implantação de sistemas agroflorestais, Bah-Acheamfour et al. (2014) no Canadá concluíram que a modalidade de sistema silvipastoril apresentou maior agregação do solo em relação SAFs sem pastejo, bem como, maiores teores de matéria orgânica. Contudo, os mesmos ressaltaram que a intensidade do preparo define o tempo de resiliência do solo para recuperar a sua agregação, podendo afirmar que a melhora da estabilidade dos agregados pelo componente floresta sob sistema ILPF deve ser concretizada ao longo prazo após implantação (> 5 anos).

O índice de estabilidade dos agregados (IEA) obteve valores altos, demonstrando que esse solo possui boa estabilidade. Houve diferença significativa entre os componentes e, as camadas de solo amostradas apresentaram interação com esses (Tabela 5). O componente floresta apresentou maior IEA na camada superficial, confirmando a contribuição da matéria orgânica do sistema florestal na agregação do solo, essa proporcionada pela queda das folhas. Concordando com valores encontrados por Mota et al. (2013) sob mata nativa.

Os valores de IEA na camada 0-0,10 m no componente floresta são superiores aos encontrados por Silva et al. (2014b) sob floresta de *M. caesalpiniaefolia* e pastagem, que variaram de 50 a 55%, respectivamente. Esses valores foram justificados pelos autores

devido o revolvimento do solo e pisoteio animal na sucessão de cultivos.

Entretanto, em outro estudo o IEA sob sistemas agroflorestais, pastagens naturais, e a vegetação nativa apresentou valores superiores em relação ao cultivo de grãos (PAUDEL et al., 2012). Diferença essa atribuída pelos autores ao aumento de teor de carbono orgânico e da atividade microbiana e; ao revolvimento do solo e perda de carbono em sistemas de cultivo de grãos.

Tabela 5 - Índice de estabilidade dos agregados sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Camada (m) | Índice estabilidade dos agregados (%) | |
|----------------|---------------------------------------|------------------------|
| | Floresta | Lavoura |
| 0-0,05 | 85,93 a | 74,58 c |
| 0,05-0,10 | 81,13 ab | 77 c |
| 0,10-0,15 | 76,68 c | 73,37 c |
| 0,15-0,20 | 74,58 c | 75,04 c |
| 0,20-0,25 | 77,39 c | 72,44 c |
| 0,25-0,30 | 74,41 c | 69,07 c |
| 0,30-0,35 | 72,10 c | 73,95 c |
| 0,35-0,40 | 73,53 c | 73,79 c |
| Média | 76,97 | 73,66 |
| CV Parcela (%) | 13,35 | CV Subparcela (%) 6,62 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os IEA observados nesse estudo no perfil do solo amostrado são próximos aos encontrados por Paudel et al. (2012), que

variou de 78 a 60% (0-0,10 e 0,10-0,20 m). Esses autores ainda ressaltaram que os sistemas agroflorestais e de pastagem apresentam efeito significativo sob indicadores de qualidade do solo em menos de 10 anos, melhorando a qualidade do ecossistema, e que avaliar as alterações na estabilidade dos agregados e atividades enzimáticas pode antecipar a visualização desse efeito.

Comparando os resultados de IEA do solo sob área de vegetação nativa (96 e 93%), cultivo florestal de *Pinus* (92 e 85%), pastagem (85 e 80%) e área de semeadura direta (73 e 69%) nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m (WENDLING et al., 2012), com os observados nesse estudo é visualizado que o IEA no componente floresta na camada superficial (0-0,10 m) apresenta valores semelhantes ao cultivo de *Pinus* e pastagem, justificados pela manutenção de teores de carbono orgânico total nesses cultivos (WENDLING et al., 2012). Está de acordo com Portella et al. (2012), que relataram maior IEA sob floresta em relação a semeadura direta e convencional, nas camadas de 0-0,40 m em profundidade no perfil do solo.

Avaliando a porcentagem de agregados retidos nas diferentes peneiras, houve diferença na média geral entre os componentes (Figura 24). O componente floresta apresentou porcentagem de agregados superior na classe de 6,34 mm, corroborando para uma maior agregação desse solo. Contudo, ambos os componentes apresentaram maior porcentagem de agregados na classe de 0,606 mm, valores esses confirmados pelo DMP e DMG observado no perfil do solo amostrado.

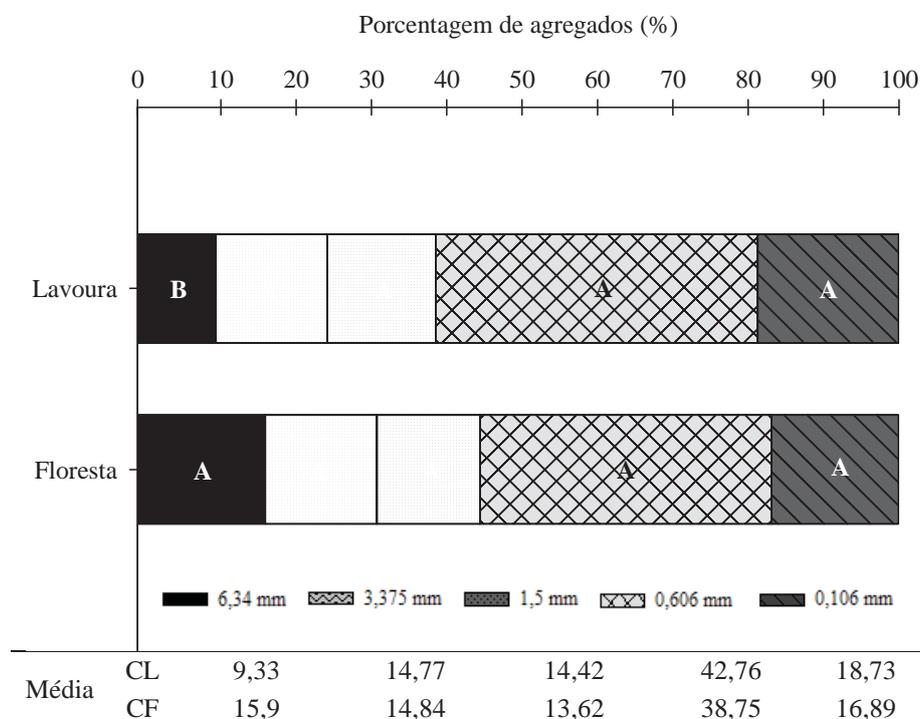


Figura 24 - Porcentagem de agregados retidos nas diferentes peneiras nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL), FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Média seguida de mesma letra maiúscula na classe não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Avaliando a porcentagem de agregados nos componentes e em profundidade no perfil do solo, foi observado que a diferença entre floresta e lavoura ocorreu na camada superficial até 0,15 m de profundidade (Figura 25). Ressaltando a maior quantidade de agregados na classe de 6,34 mm no componente floresta, resultante da quantidade de raízes nessa camada e do efeito cimentante da matéria orgânica. Uma vez que, as maiores proporções de agregados foram observadas nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m no componente floresta.

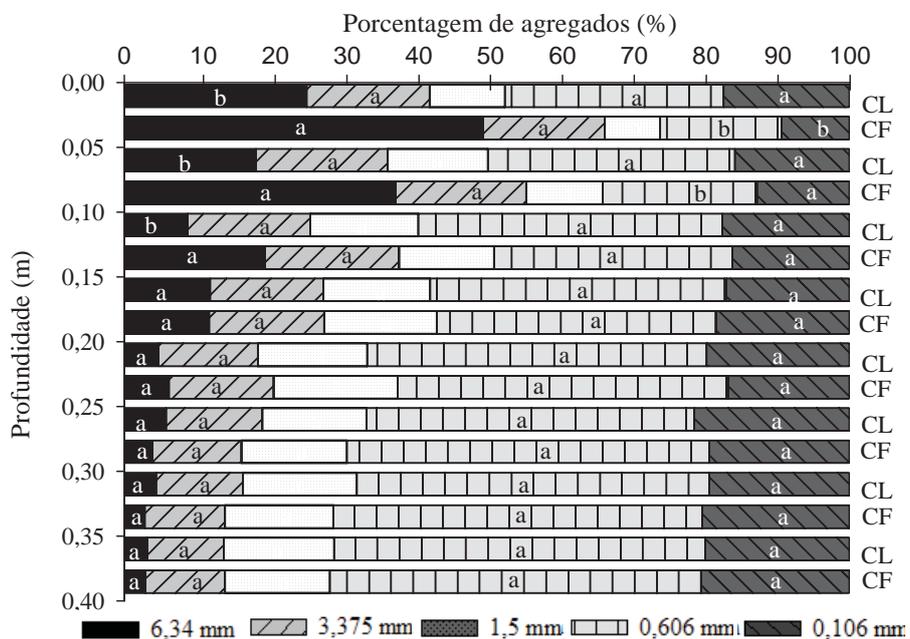


Figura 25 - Porcentagem de agregados retidos nas diferentes peneiras nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na classe não diferem entre si em cada camada amostradas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os resultados observados na classe de 6,34 mm são inferiores aos encontrados por Sousa Neto et al. (2014) sob sistema ILPF com diferentes densidade de árvores (357 e 227 ha⁻¹) e altura de pastejo (30 e 45 cm), que variou de 95 a 82% nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na classe de 4,76-8,00 mm, respectivamente. Destacando maior porcentagem de agregados no sistema com 357 árvores ha⁻¹ e altura de pastejo de 30 cm em ambas as camadas em relação ao outros sistemas de integração (ILPF₂₂₇ e ILP) e vegetação nativa (SOUSA NETO et al., 2014). Contudo, o comportamento apresentado de maior

porcentagem de agregados maiores no componente floresta ou no sistema com introdução de árvores é similar na camada superficial.

Por vez, o componente lavoura apresentou valores superiores nas classes 1,5, 0,606 e 0,106 mm para a camada de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, resultando em maior porcentagem de microagregados. Estando de acordo com Wendling et al. (2012) que observaram porcentagem maior de agregados menores que 2 mm na área com semeadura direta na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, em relação ao Cerrado nativo, pinus e pastagem. Da mesma forma, Vezzani & Mielniczuk (2011) relataram que a área de lavoura apresentou redução de macroagregados ($>0,25$ mm) pelo fato da quebra mecânica desses e da redução de matéria orgânica, em consequência do revolvimento do solo no mínimo duas vezes ao ano.

Relacionando os resultados de porcentagem de agregados no componente floresta e lavoura, esses são semelhantes aos que Demarchi et al. (2011) observaram em diferentes usos do solo, relatando maior porcentagem de agregados na classe de 8-2 mm sob área de mata nativa (63,72%) e a área de pastagem (79,72%), em relação ao cultivo de grãos com rotação de culturas e cultivo de cana-de-açúcar. Esses autores afirmaram que o maior teor de argila, a proteção da matéria orgânica ocasionada pela cobertura vegetal contra a desagregação pelo impacto da chuva, o fornecimento de energia para a atividade microbiana e o efeito do sistema radicial de *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. cv. Marandu, proporcionaram essa maior agregação.

Corroborando com a maior porcentagem de agregados no componente floresta, Salton et al. (2008) e Lenka et al. (2012) observaram que o cultivo de espécies de pastagem perene em conjunto com floresta, em um sistema de integração proporcionam agregados maiores (8-2 mm), conseqüentemente melhor estabilidade desses e da estrutura do solo, justificando a melhora pelo fato do maior aporte de matéria orgânica, sistema radicial mais profundo sob floresta e exsudação de polissacarídeos sob pastagem (PAUDEL et al., 2012; MOTA et al., 2013).

4. 12 Água no solo

A variação da água no solo apresentou diferença significativa entre os componentes e nas camadas de solo amostradas somente na data de 07/04/2014, quando não houve precipitação por um período de 15 dias anterior a coleta (Figura 26B). Nas demais datas de coleta de amostras de solo, houve diferença apenas entre camadas amostradas, aumentando o teor de água conforme aumento da profundidade no perfil do solo (Figura 26A; Figura 26C).

Na data de 07/04 o componente lavoura apresentou teor de água no solo superior ao componente floresta em todo perfil do solo amostrado, manifestando maior diferença na camada superficial (0-0,10 m). Resultados similares foram observados por Anderson et al. (2009) sob sistemas agroflorestais, que justificam essa diferença pela maior transpiração das árvores em períodos secos (críticos) em relação as plantas cultivadas.

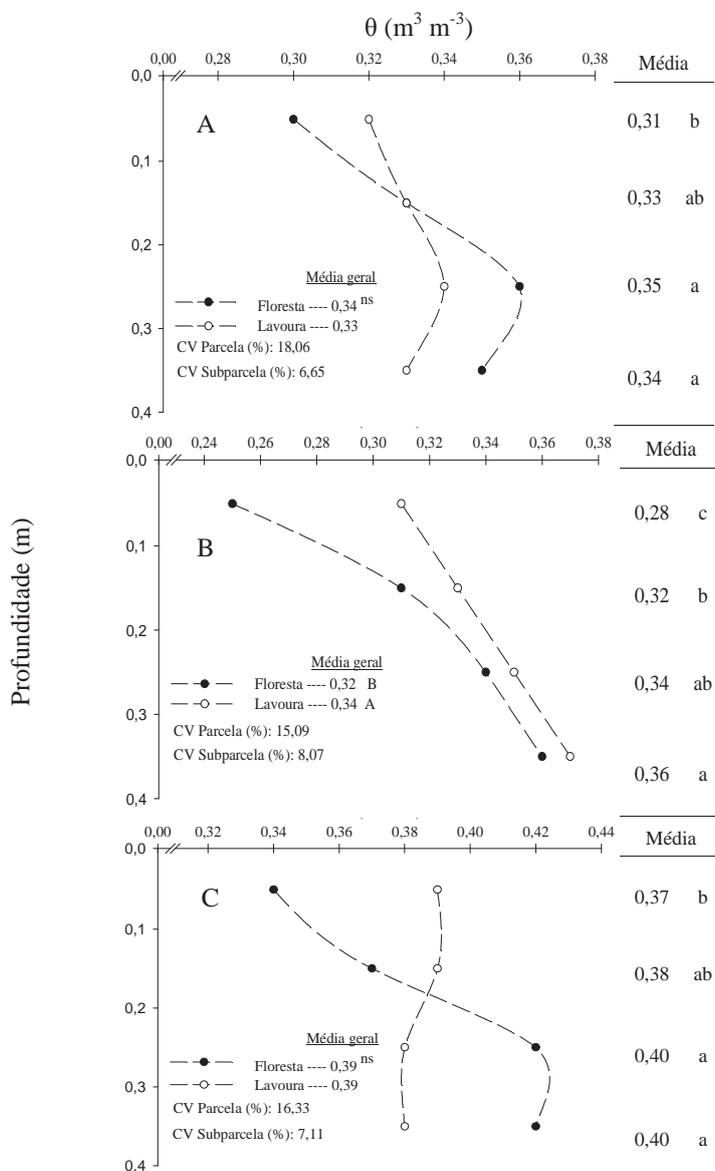


Figura 26 - Teor de água no solo nas datas de 27/03 (A), 07/04 (B) e 23/05/2014 (C) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014. Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula nos componentes não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}Não significativo a 5% de significância.

Contudo, Anderson et al. (2009) explanaram que o sistema agroflorestal aumentou a infiltração e armazenagem de água em profundidade no perfil do solo nos períodos de precipitações normais, pelo fato da maior concentração de raízes nessas camadas. Isso foi observado nas datas de 27/03 e 23/05, em que o componente floresta apresenta maior teor de água em profundidade no perfil do solo, camada de 0,20-0,40 m.

O teor de água disponível às plantas entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), não apresentou diferença entre os componentes (Figura 14). Contudo, plotando em um gráfico o teor de água nas datas de coleta de amostras de solo em conjunto com a CC e o PMP é possível visualizar a variação do desse nessas datas em ambos os componentes (Figura 27).

Na data de 27/03 o teor de água apresentou valores intermediários no componente floresta (Figura 27A), não estando próximo aos teores de água no PMP. Contudo, na data 07/04 os valores de conteúdo de água estiveram próximos aos no PMP na camada superficial (0-0,10 m), não disponibilizando água às plantas. Comportamento esse explicado pelo fato de ambos os componentes apresentarem redução no volume de macroporos (Figura 13), assim retendo água sob maior força capilar, concordando com o observado por Suzuki et al. (2014) sob áreas de eucalipto.

Na camada de 0,10-0,40 m no componente floresta, o teor de água na data de 07/04 aproximou-se de valores intermediários em relação a CC e PMP. Já, a data de 23/05 apresentou teor de água próximo ao de CC, pelo fato da coleta de amostras de solo ter ocorrido

poucos dias após uma precipitação de aproximadamente 110 mm. De acordo com o observado por Siriri et al. (2013) em relação a armazenagem de água sob sistemas agroflorestais.

O componente lavoura apresentou valores de teor de água similares aos do componente floresta nas datas de 27/03 e 23/05 (Figura 26B). No entanto, na data de 07/04 os teores de água foram próximos aos da data de 27/03, considerado intermediários em relação aos teores de CC e PMP, diferenciando-se do componente floresta. Somente na camada de 0,30-0,40 m o teor de água na data de 07/04 aproximou-se dos valores da data de 23/05. Esse comportamento pode ser justificado pela menor transpiração das plantas em superfície no componente lavoura e os maiores volume de microporos em profundidade no perfil do solo (Figura 14).

Na avaliação de sistema agroflorestal em comparação com cultivo de milho com preparo convencional durante cinco, dez e quinze anos, Ketema & Yiemer (2014) observaram valores superiores de teor de água no solo nos primeiros cinco anos sob cultivo de milho. Contudo, ao longo dos anos o sistema agroflorestal se destacou e apresentaram valores médios superiores em relação ao teor de água disponível, esses correlacionados positivamente com o carbono orgânico, discordando em partes dos resultados encontrados no presente estudo, pelo fato que o componente floresta apresentou apenas valores semelhantes ao componente lavoura e inferiores, não o superando nas datas de coleta.

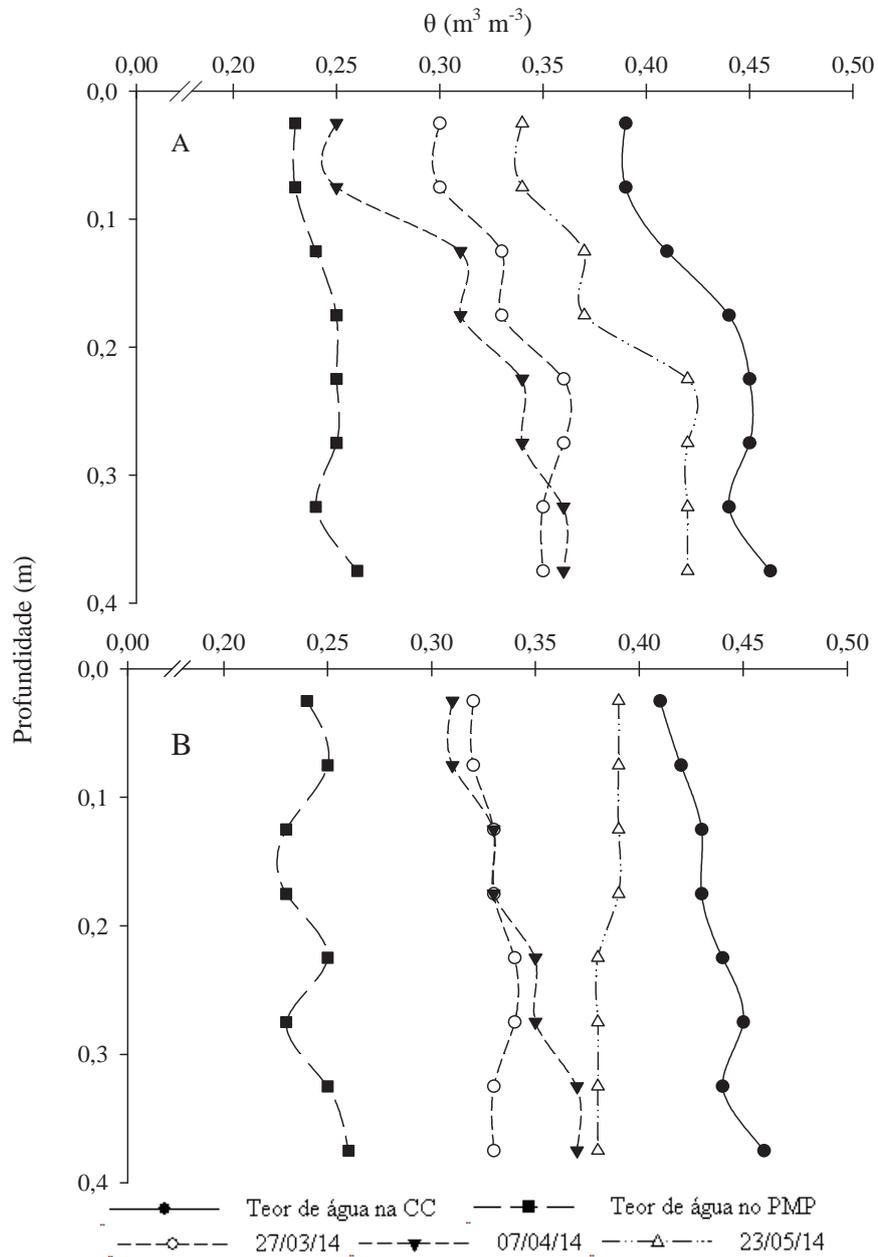


Figura 27 - Teor de água no solo nos componentes floresta (A) e lavoura (B) em sistema integração lavoura-pecuária-floresta, nas datas de 27/03, 07/04 e 23/05/2014, na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PMP) e nas camadas de solo amostradas, FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014.

Em relação à variação de armazenagem de água nas datas amostradas, valores obtidos para as datas de 07/04 e 23/05, os componentes e as camadas de solo amostradas apresentaram diferença na armazenagem de água (Tabela 6). Na data de 07/04, o componente floresta expressou perda de 8 mm de água até a camada 0,40 m, com maior perda na camada superficial (0-0,10m), diferenciando do componente lavoura que apresentou variação positiva de 4 mm, com perda de água apenas na camada superficial.

Para a variação da data de 23/05, houve aumento de água no solo em ambos os componentes, com maior armazenagem de água no componente floresta. A maior armazenagem no componente floresta na variação dessa data pode ser explicada pelo fato desse componente encontrar-se com menor teor de água na data de 07/04 e a ocorrência de precipitação normal fez com que os teores de água retornassem a níveis adequados para esse solo.

Tabela 6 - Armazenagem (hL) de água no solo na data de 27/03 e variação de armazenagem (Δ hL) de água no solo nas datas de 07/04 e 23/05/2014 em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta (CF) e lavoura (CL) e nas camadas amostradas. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Camada (m) | hL (mm) | | Δ hL (mm) | | | |
|------------|---------|-----|------------------|----|-------|----|
| | 27/03 | | 07/04 | | 23/05 | |
| | CF | CL | CF | CL | CF | CL |
| 0-0,10 | 30 | 32 | -5 | -1 | 9 | 9 |
| 0,10-0,20 | 33 | 33 | -2 | 0 | 6 | 6 |
| 0,20-0,30 | 36 | 34 | -2 | 1 | 8 | 3 |
| 0,30-0,40 | 35 | 33 | 1 | 4 | 6 | 1 |
| Total (mm) | 134 | 132 | -8 | 4 | 29 | 19 |

Média de 6 repetições.

4.13 Retenção de água no solo

As curvas de retenção de água no solo apresentaram alterações pela ação dos componentes, do manejo do solo, nas camadas de solo amostradas (Figura 28). Para altas tensões (1500 kPa) e nas camadas de 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m a amplitude da variação entre as curvas de retenção de água é reduzida entre os componentes. A curva característica do solo para altos teores de água é em função da densidade e porosidade do mesmo, dependente do arranjo das partículas e dimensões dos poros (SUZUKI et al., 2014).

O componente lavoura apresentou maior retenção de água nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, pelo fato de maior adensamento do solo nessas camadas, reduzindo o tamanho dos poros. Já no componente floresta houve maior retenção de água nas camadas de 0,15-0,20 e 0,20-0,25 m, por possuir maior volume de microporos e criptoporos nessas camadas. Concordando com Suzuki et al. (2014) que observaram menor retenção de água sob eucalipto de 20 anos e 4,5 anos na camada de 0,025-0,125 m, aumentando essa conforme a profundidade no perfil do solo, apresentando menor disponibilidade de água que a área de floresta nativa e pastagem.

Os parâmetros empíricos de ajuste da umidade volumétrica ao potencial das amostras foram obtidos por meio dos desvios dos quadrados mínimos no Excel (Tabela 7).

Ainda, em avaliação da qualidade física de um Latossolo sob diferentes usos, Mota et al. (2012) relataram que o cultivo de eucalipto com 20 anos de idade aproximou-se de valores de retenção e

disponibilidade de água da floresta nativa nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, diferenciando-se das áreas de pastagem, cultivo anual, eucalipto de 1 e 3 anos de idade. Contudo, Silva et al. (2011b) afirmaram que sistemas agroflorestais (silvipastoril e agrossilvipastoril) apresentaram menores teores de retenção de água em relação a floresta nativa, por vez, o agrossilvipastoril ainda expressou menor teor de água retida que o cultivo de grãos, comportamento relacionado a distribuição do diâmetro de poros, conforme ocorre nesse estudo.

Tabela 7 - Parâmetros do ajuste dos pontos da curva de retenção de água no solo pela soma dos desvios dos quadrados mínimos em equação no Excel. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014

| Camada (m) | α (1/kPa) | m | n | θ_r ($m^3 m^{-3}$) | θ_s |
|---------------|---------------------|---------|--------|--------------------------------|------------|
| Floresta | | | | | |
| 0-0,05 | 3,3883E-04 | 4,4936 | 0,4707 | 0,231 | 0,437 |
| 0,05-0,10 | 2,8232E-05 | 7,5470 | 0,3746 | 0,223 | 0,450 |
| 0,10-0,15 | 3,4256E-05 | 9,0603 | 0,4835 | 0,242 | 0,448 |
| 0,15-0,20 | 1,6399E-05 | 11,1603 | 0,4667 | 0,247 | 0,479 |
| 0,20-0,25 | 1,8686E-05 | 14,1648 | 0,5347 | 0,254 | 0,486 |
| 0,25-0,30 | 3,3335E-05 | 8,7899 | 0,4729 | 0,254 | 0,495 |
| 0,30-0,35 | 2,4542E-05 | 7,7117 | 0,4000 | 0,242 | 0,511 |
| 0,35-0,40 | 2,1947E-05 | 9,6890 | 0,4339 | 0,259 | 0,509 |
| Lavoura | | | | | |
| 0-0,05 | 9,6989E-05 | 7,7977 | 0,5422 | 0,236 | 0,433 |
| 0,05-0,10 | 3,803E-05 | 11,8164 | 0,5629 | 0,253 | 0,445 |
| 0,10-0,15 | 3,0766E-05 | 9,4404 | 0,4596 | 0,244 | 0,484 |
| 0,15-0,20 | 1,9278E-05 | 10,5281 | 0,4501 | 0,236 | 0,457 |
| 0,20-0,25 | 2,9499E-05 | 10,8836 | 0,4910 | 0,251 | 0,479 |
| 0,25-0,30 | 1,4184E-05 | 12,9174 | 0,4832 | 0,233 | 0,486 |
| 0,30-0,35 | 1,739E-05 | 9,7005 | 0,4180 | 0,254 | 0,499 |
| 0,35-0,40 | 4,0663E-05 | 8,3658 | 0,4728 | 0,256 | 0,519 |

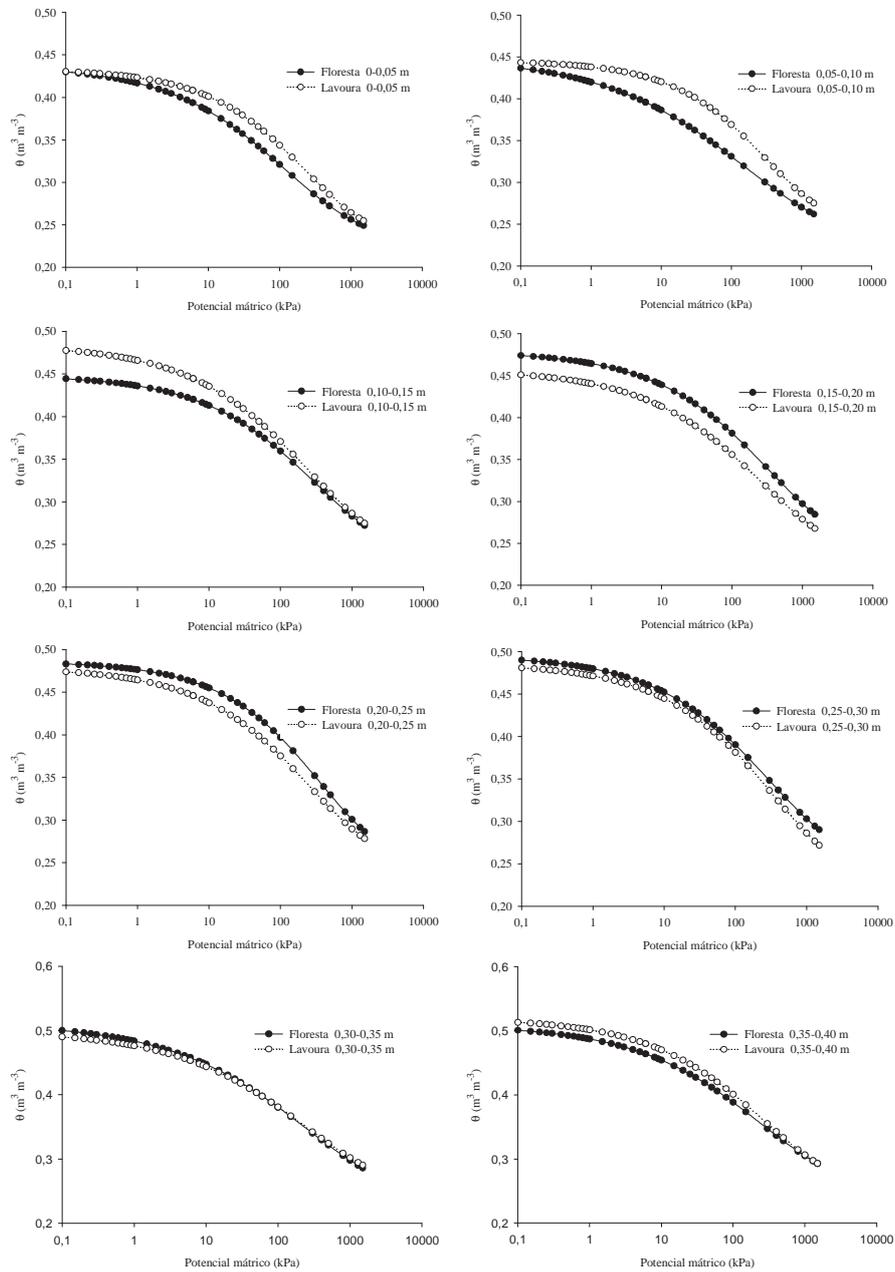


Figura 28 - Curva de retenção de água no solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, nos componentes floresta e lavoura e nas camadas de solo amostradas. FAMV/UPF, Passo Fundo (RS), 2014.

5 CONCLUSÕES

A presença do componente floresta no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta melhora algumas propriedades físico-hídrico-mecânicas do Latossolo Vermelho após cinco anos de implantação.

A estabilidade dos agregados em água, a resistência mecânica do solo a penetração, os limites de Atterberg e a curva de retenção de água são propriedades físicas do solo que expressam melhor as alterações no solo do componente floresta em sistema ILPF.

Os limites de consistência e estabilidade dos agregados são melhorados no componente floresta.

A resistência mecânica a penetração, a relação UOC/LP e LL/CC, e a disponibilidade e retenção de água no solo (períodos secos) apresentam alterações negativas pela presença do componente floresta.

A inclusão do componente floresta no sistema de produção ao longo dos anos (> 5 anos) melhora algumas propriedades físicas do solo.

6 REFERÊNCIAS

AGNE, S. A. A. *Atributos físico-hídrico-mecânicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos suíno em pastagem perene*. 2013. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, 2013.

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicação de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 720-726, 2014.

ALAMEDA, D.; VILLAR, R. Linking root traits to plant physiology and growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl. seedlings under soil compaction conditions. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v. 79, p. 49–57. 2012.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRO-DA-SILVA, V.; NETO, M. M. G.; VIANC, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 59-67, 2010.

ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P.; SEOBI, T.; GARRETT, H. E. Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips. *Agroforestry systems*, Dordrecht, v. 75, n. 1, p. 6, 2009.

ARAÚJO, A. R.; FERREIRA, A. D.; MACEDO, M. C. M.; TROLEIS, M. J. B.; ORTIZ, A. C. B. Resistência do solo à penetração em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34, 2013, Florianópolis. *Resumos...* Florianópolis: SBCS/Epagri, 2013.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

AVANZI, J. C.; NORTON, D. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A. da. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 1, p. 86-96, 2011.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de. O.; STONE, L. F. *Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2011a. 130 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVERENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELLI, R. S.; SANTOS, H. P. dos.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, 2011b.

BAH-ACHEAMFOUR, M.; CARLYLE, C. N.; BORK, E. W.; CHANG, S. X. Trees increase soil carbon and its stability in three agroforestry systems in central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 328, p. 131-139, 2014.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. 498p.

BENGOUGH, A. G.; BRANSBY, M. F.; HANS, J.; McKENNA, S. J.; ROBERTS, T. J.; VALENTINE, T. A. Root responses to soil physical conditions: Growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 57, p. 437-447, 2006.

BUSSCHER, W. J. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical, chemical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 463-478.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, F. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 129-136, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 829-834, 2002.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, p. 843-849, 2005.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 14. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008. 980 p.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico no solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; *Matéria orgânica e seu efeito na física do solo*. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRASIL. Instrução normativa nº 2, de 09 de outubro de 2008. Estabelece critérios para descrições das características específicas dos diferentes tipos de solos, atualmente utilizadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático. *Diário Oficial da União*, Brasília, Republicada no DOU nº 197, de 10/10/2008, Seção 1, pág. 71, D.O.U., 10/10/2008 - Seção 1, REP., 13/10/2008.B

BUENO, B.S. ; VILAR, O.M. *Mecânica dos solos*. 1 ed. São Carlos: USP, 1998. 131 p.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de.; NAKATANI, A. S.; MORAES, J. P. de.; NOGUEIRA, M. A. Review: Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and

management on soil health? *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas e plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v. 22, p. 527-538, 1998.

CRUZ, D. L. de. S.; JÚNIOR, J. F. do. V.; CRUZ, P. L. de. S.; CRUZ, A. B. de. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 307-314, 2014.

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

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise de estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 07-29, 2011.

DIAS-JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 20, p. 175-182, 1996.

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. *Barreiras à adoção de sistemas Silvopastoris no Brasil*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. (Documentos 347).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 212

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Save and grow: a policymaker's guide to the sustainable intensification of small holder crop production*. Rome, 2013. Disponível em: < <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/>> Acesso em 04 junho de 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Building a common vision for sustainable food and agriculture*. Rome, 2014. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf>> Acesso em 28 novembro de 2014.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Q. (Org.). *Física do solo*. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. Revisão. *Semina: Ciência Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2011.

FERREIRA, A. D.; ARAÚJO, A. R. de.; MACEDO, M. C. .; ALMEIDA, R. G. de. Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SAF'S +10 – SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: 10 ANOS DE PESQUISA, 2013. *Resumos...* Campo Grande: Embrapa, 2013.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 487-493, 2000.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F., BEUTLER, A. N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 627-636, 2007.

FREITAS, I. C. de.; SANTOS, F. C. V. dos.; CUSTÓDIO FILHO, R. de. O.; SILVA, N. R. da. A.; CORRECHEL, V. Resistência a

penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1275-1281, 2012.

FREITAS, I. C. de.; SANTOS, F. C. V. dos.; CUSTÓDIO FILHO, R. de. O.; CORRECHEL, V.; SILVA, R. B. da. Agroecossistemas de produção familiar da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1310-1317, 2013.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Org.). *Methods of soil analysis - Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GONÇALVES, J. L. de. M.; STAPE, J. L. *Conservação e cultivo para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O. da.; SILVA, T. L. da.; DIAS, N. da. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 126, p. 177-182, 2013.

HILLEL, D. *Environmental Soil Physics*. San Diego: Academic Press, 1998. 770 p.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? *Geoderma*, Amsterdam, v. 114, p. 145-156, 2003.

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.511-519.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S.; Size distribution of aggregates. *Methods of soils analysis*. Society of Agronomy. Madison: American, Society, Agronomy, 1965. p. 499-510.

KETEMA, H.; YIEMER, F. Soil property variation under agroforestry based conservation tillage and maize based conventional tillage in Southern Ethiopia. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 141, p. 25-31, 2014.

KIEHL, J. E. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Agrônoma Ceres, 1979, 265 p.

KLEIN, V. A. *Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo*. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1998.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Consistência de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, Valdivia, v. 1, n. 1, p. 54-58, 2001.

_____ Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 843-853, 2002.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física do solo de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 221-227, 2007.

KLEIN, V. A.; BASSEGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A. *Física do solo*. 3. ed. Passo Fundo: UPF Editora, 2014. 263 p.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, Amsterdam v. 76, p. 1-10, 2009.

LENKA, N. K.; CHOUDHURY, P. R.; SUDHISHRI, S.; DASS, A.; PATNAIK, U. S. Soil aggregation, carbon build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 150, p. 54-62, 2012.

LIMA, C. L. R. de.; MIOLA, E. C. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; SILVA, A. P. da. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil, *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 124, p. 190-195, 2012.

LORO, L. V. de. *Caracterização de atributos físicos e químicos do solo em diferentes sistemas de manejo*. 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Dourados, Dourados, 2013.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcios e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados a compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p. 1733-1744, 2012.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. da. S.; OLIVEIRA, T. S. de.; SÁ MENDONÇA, E. de.; ARAÚJO FILHO, J. A. de. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no

semi-árido cearense. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARCOLIN, C. D. *Propriedades físicas de um Nitossolo e Latossolos Argilosos sob plantio direto*. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

_____ *Uso de funções de pedotransferências entre atributos físicos do solo sob plantio direto*. 2009. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; VIEIRA, L. L. Uso da terra e a qualidade microbiana de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 1678-1688, 2013.

MORAES, M. T. de.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa v. 38, p. 288-298, 2014.

MOSADDEGHI, M. R.; KOOLEN, A. J.; HMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; LERINK, P. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structure soils. *Journal of Terramechanics*, Oxford, v. 44, n. 1, p. 53-63, 2007.

MOTA, F. O. B.; NESS, R. L. L.; MOTA, J. C. A.; CLEMENTE, C. A.; SOUSA, S. C. Physical quality of an Oxisol under different uses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p. 1828-1835, 2012.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 1196-1206, 2013.

NAIR P. K. R.; KUMAR B. M.; NAIR V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, New York, v. 172, p. 10–23, 2009.

NEVES, C. M. N. das.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. de. Atributos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 35, n. 74, p. 45-53, 2007.

NOGUEIRA, J. B. *Mecânica dos solos*. Ensaio de laboratório. São Carlos: Eesc-USP, 1998. p. 248.

PAUDEL, B. R.; UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J.; ANDERSON, S. H. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 84, p. 311-323, 2012.

PARADELO, R.; OORT, F. V.; CHENU, C. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition. *Geoderma*, Amsterdam, v. 200-201, p. 40-44, 2013.

PORTELLA, C. M. R. GUIMARÃES, M. de. F.; FELLER, C. FONSECA, I. C. de. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1868-1877, 2012.

PREVEDELLO, J.; VOGELMANN, E. S.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J. A funcionalidade do Sistema poroso do solo em

floresta de eucalipto sob Argissolo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 557-566, 2013.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 27, p. 30-48, 2003.

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

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: JONG VAN LIER, Q. (Org.). *Física do solo*, 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2006. *Anais...* Aracaju, SBCS, 2006. Disponível em: <http://200.132.38.201/professores/vanderlei/fundamentos_da_ciencia_solo/indicadores_de_qualidade_do_solo.pdf> Acesso em 24 de agosto de 2014.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIBEIRO, S. C.; CHAVES, H. M. L.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. da. Estimativa do abatimento de erosão aportado por um sistema agrossilvipastoril e sua contribuição econômica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 285-293, 2007.

RIBEIRO, J. C.; VERDUM, R. Arenização, silvicultura e políticas ambientais no sudoeste do Rio Grande do Sul. *Geographia*, Niterói, v. 15, n. 29, p. 77-98, 2013.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em

sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SETA, A. K.; KARATHANASIS, A. D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. *Geoderma*, Amsterdam, v. 74, p. 255-266, 1996.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVA, A. J. N. da.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. de. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMNHOF, S. funções de pedotransferências para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1-10, 2008.

SILVA, D. C. da.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S. de.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. *Revista de estudos ambientais*, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011a.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, Amsterdam, v. 167-168, p. 61-70, 2011b.

SILVA, N. F. da.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C. de.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J. Características físico-hídricas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v. 8, n. 5, p. 375-390, 2014a.

SILVA, A. S.; SILVA, I. de. F. da.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. de. O.; NETO, L. de. F. S. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014b.

SILVA, R. B. da.; LIMA, C. C. de.; SILVA, F. A. de. M.; IORI, P. Compressive behavior and structural assessment of soil under agroforestry systems and native forest in southwest of Brazil. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, v. 4, n. 4, p. 168-176, 2014c.

SIRIRI, D.; WILSON, J.; COE, R.; TENYWA, M. M.; BEKUNDA, M. A.; ONG, C. K.; BLACK, C. R. Trees improve water storage and reduce soil evaporation in agroforestry systems on bench terraces in SW Uganda. *Agroforestry systems*, Amsterdam, v. 87, n.1, p. 45-58, 2013.

SOUSA NETO, E. L. de. *Dinâmica dos atributos físicos e estoque de carbono em um Latossolo em sistemas integrados de produção*. 2013. Tese. (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2013. 41 p.

SOUSA NETO, E. L. de. ; ANDRIOLI, I.; ALMEIDA, R. G. de.; MACEDO, M. C. M.; LAL, R. Physical quality of na oxisol unde na integrated crop-livestock-forest system in the brazilian cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, p. 608-618, 2014.

SOWERS, G. G. Consistency. In: BLACK, C. A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. P. 391-399.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. R. L. de.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M; PILLON, C. N. Structural condition of an alfisol in rio grande do sul state, under native Forest, cultivated pasture and eucalypt. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 833-843, 2012.

_____ Estrutura e armazenamento de água em um argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L. F. S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. de. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agricultural uses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 925-933, 2010.

TEDESCO, M. J. *Análise de solo, plantas e outros minerais*. Porto Alegre: UFRGS, 1995, 174 p.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A. de.; PINHEIRO, P. L.; MENDONÇA, E. de. S. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do Espírito Santo. *Coffee Science*, Lavras, v. 8, n. 4, p. 450-459, 2013.

TOBELLA, A. B.; REESE, H.; ALMAW, A.; BAYALA, J.; MALMER, A.; LAUDON, H.; ILSTEDT, U. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, Washington, v. 50, n. 4, p. 3342-3354, 2014.

TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, L. C. F. de. Physical properties and particle-size fractions of soil organic matter in crop-livestock integration. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p. 1299-1309, 2012.

TORMENA, C. A.; SILVA A. P. da.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: u conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água

na agricultura irrigada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 286-292, 1999.

TRACY, S. R.; BLACK, C. R.; ROBERTS, J. A.; MOONEY, S. J. Exploring the interacting effect of soil texture and bulk density on root system development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v. 91, p. 38-47, 2013.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIRA, V. S. O.; SILVA, Y. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, v. 34, p. 639-648, 2010.

VARELLA, A. C.; RIBASKI, J.; SILVA, V. P.; SOARES, A. B.; MORAES, A.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C.; BARRO, R. S.; POLI, C. H. E. C.; PAULINO, B. M. *Recomendações para a escolha e manejo de plantas forrageiras em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil*. Bagé, RS: Embrapa Pecuária Sul, 2008. (Documentos 76).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Revisão de literatura: Uma visão sobre a qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p.743-755, 2009.

_____ Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.213-223, 2011.

VILELA, E. F.; MENDONÇA, E. S. Impactos do sistema agroflorestal sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. *Coffee Science*, Lavras, v. 8, n. 3, p. 354-363, 2013.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do Cerrado em floresta de

pinus, pastagem e plantio direto. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.

WU, Y.; HUANG, M.; GALLICHAND, J. Transpirational response to water availability for winter wheat as affected by soil textures. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 569-576, 2011.