



**UFES – UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE CHAPECÓ
CURSO DE AGRONOMIA**

MARCELO ANTONIO KEHL

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO
ASSENTAMENTO DOM JOSÉ GOMES EM CHAPECÓ/SC**

CHAPECÓ – SC

2015

MARCELO ANTONIO KEHL

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO
ASSENTAMENTO DOM JOSÉ GOMES EM CHAPECÓ/SC**

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

Orientador: Dr. Fernando P. Ferreira

CHAPECÓ – SC

2015

Universidade Federal da Fronteira Sul.
Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo no assentamento Dom José Gomes
em Chapecó/SC/Universidade Federal da Fronteira Sul;
Marcelo Antonio Kehl (Graduando) – Chapecó, 2015.
70 folhas : il.

1. Introdução. 2. Objetivos 3. Revisão Bibliográfica.
4. Material e Métodos. 5. Resultados e Discussões.
6 Conclusões.
Kehl, Marcelo Antonio (Graduando).

MARCELO ANTONIO KEHL

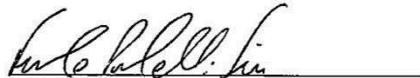
**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO
ASSENTAMENTO DOM JOSÉ GOMES EM CHAPECÓ/SC**

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

Orientador: Dr. Fernando P. Ferreira

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 27/04/2015

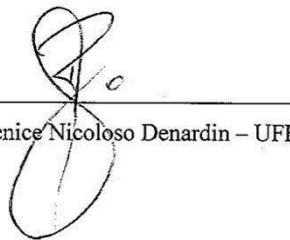
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Perobelli Ferreira – UFFS/Chapecó



Prof. Dr. Jorge Luís Mattias – UFFS/Chapecó



Profª. Drª. Rosiane Berenice Nicoloso Denardin – UFFS/Chapecó

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha esposa e filhas que sempre compreenderam a ausência e incentivaram minha formação acadêmica.

Aos meus pais Vilma e José (*in memorium*) pela educação e oportunidade de cursar a Escola Agrícola, a qual foi o primeiro passo para chegar ao momento ora vivido.

À Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, pela oportunidade de realizar o Curso de Graduação em Agronomia com ênfase em Agroecologia.

Ao Professor Fernando Perobelli Ferreira que sempre buscou meios para viabilizar a realização dos estudos, bem como o tempo despendido para orientação e construção deste trabalho.

Ao Sr. Álvaro Santin e família por disponibilizar a propriedade agrícola para estudo e auxiliar na coleta de amostras.

Ao Prof. Vanderlei Rodrigues da Silva da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Campus Frederico Westphalen e a equipe do Lab. de Física do Solo por viabilizarem a realização da maioria das análises deste estudo.

Aos meus irmãos, colegas de trabalho e amigos que sempre incentivaram e que de uma forma ou de outra auxiliaram nesta caminhada.

Aos demais professores e colegas que contribuíram ao longo da minha formação acadêmica.

RESUMO

O solo é base da sobrevivência humana, pois é nele que fixamos construções e colhemos nossos alimentos. Contudo, dada a grande degradação ambiental que as terras (solos) vêm sofrendo nos últimos anos devido ao uso de práticas de manejo inadequadas, a sociedade atual passa a se preocupar mais com o futuro da humanidade, visto a possibilidade do esgotamento dos recursos naturais. Neste contexto, a agroecologia surge como uma alternativa aos sistemas agropecuários tradicionais por, teoricamente, evitar que a degradação dos solos ocorra em níveis muito acelerados. Desta forma, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos que diferentes sistemas de manejo exercem sobre os atributos físicos dos solos do Assentamento Dom José Gomes no município de Chapecó - SC. Para tal, foram avaliados, nas profundidades de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm, a densidade do solo (Ds), a resistência mecânica a penetração (RP), a porosidade total (Pt), a macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e a condutividade hidráulica saturada (Ksat) de um Latossolo Bruno conduzido sob Sistema Plantio Direto (SPD), sistema de cultivo convencional (SCC), Pomar (POM) e pastagem naturalizada (PN), bem como de um Cambissolo Háplico sob Mata Nativa (MN). O teor de carbono orgânico (CO) e granulometria dos solos da área de estudo também foram determinados. O teor de CO do solo diminuiu em profundidade e foi maior no POM e PN e menor no SPD e MN, enquanto que o teor de argila foi maior no SPD e SCC e menor na MN. Os valores de Ds e RP foram diretamente proporcionais e os maiores valores foram observados em profundidade e no PN e SPD, principalmente no SPD2 e SPD3; entretanto, ainda não são restritivos ao desenvolvimento das culturas. A MN e o POM apresentaram a maior Mac, enquanto que o oposto foi observado para o SPD, atingindo níveis capazes de reduzir o desenvolvimento das plantas. A Mic não variou entre os sistemas de manejo e profundidade estudadas e para a Ksat, apesar de o SPD apresentar os menores valores médios e a MN e PN1 os maiores, não se observou diferença estatística entre os sistemas de manejo e profundidade estudadas devido ao alto coeficiente de variação observado nas determinações (CV = 141%). Assim, apesar de os diferentes sistemas de manejo ocasionarem variação tanto no CO quanto nos atributos físicos do solo, não foi possível verificar se a agroecologia foi a responsável por tais variações, pois tanto o aporte de resíduos orgânicos quanto o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, bem como o pisoteio animal ou ainda a ausência destes é que ocasionaram as alterações nas variáveis medidas. Ainda, a qualidade com que os sistemas de manejo são conduzidos, inclusive os agroecológicos, também pode ocasionar variações nos atributos químicos e físicos do solo.

Palavras-chaves: Atributos do solo. Agroecologia. Sistemas de cultivo. Tipos de uso.

RESUMEN

El suelo es la base de la supervivencia humana, porque es donde se fija las construcciones y cosechamos nuestros alimentos. Sin embargo, dada la gran degradación ambiental que las tierras (suelos) han sufrido en los últimos años debido al uso de prácticas de manejo inadecuado, la sociedad actual está más preocupada por el futuro de la humanidad, desde la posibilidad del agotamiento de los recursos naturales. En este contexto, la agroecología surge como una alternativa a los sistemas agrícolas tradicionales, en teoría, evitar que la degradación del suelos ocurren en niveles muy rápido. Por lo tanto, este estudio el objetivo fue evaluar los efectos del manejo diferente sistemas ejercen sobre los atributos físicos de los suelos en el asentamiento Don José Gomes del municipio de Chapecó-SC. Con este fin, se han evaluado, en las profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, densidad del suelo (Ds), la resistencia mecánica a la penetración (RP) , porosidad total (Pt), la macroporosidad (Mac), microporosidad (Mic) y la conductividad hidráulica saturada (Ksat) de un Latosuelo Bruno en el sistema plantio directo (SPD), sistema de cultivo convencional (SCC), pomar (POM) y pasturas naturalizadas (PN), y un bosque nativo bajo Cambisuelos Háplico (MN). También se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) y tamaño de las partículas de los suelos del área de estudio. El contenido de CO del suelo disminuyó en profundidad y era mayor en el POM y PN y menos para el SPD y MN, mientras que el contenido de arcilla era mayor en el SPD y el SCC y menor en MN. Los valores de Ds y RP fueron directamente proporcionales y los valores más altos se observaron en profundidad y en el PN y el SPD, principalmente en SPD2 y SPD3; Sin embargo, son todavía no restrictiva para el desarrollo de las culturas. El MN y el POM presentada el Mac más grande, mientras que lo contrario se observó para el SPD, alcanzando niveles pueden reducir el desarrollo de las culturas. El Mic no varió entre sistemas de manejo y profundidad estudiadas a la Ksat, aunque el SPD presenta los valores medios más bajos y la MN y PN1 los mayores, no se observó diferencia estadística entre los sistemas de manejo y profundidad estudiada debido al alto coeficiente de variación observada en las determinaciones ($CV = 141$). Por lo tanto, a pesar de la gerencia de diferente sistemas cambiaría en CO y en los atributos físicos de la tierra, no fue posible verificar si la agroecología fue responsable de dichas variaciones, porque tanto la cantidad de materia orgánica de residuos como la maquinaria agrícola y aperos tráfico, así como el pisoteo animal o incluso la ausencia de éstos es que provocó cambios en las variables medidas. Aún así, los sistemas de manejo de calidad se llevan a cabo, incluyendo la ecológica, también pueden causar variaciones en el suelo los atributos físicos y químicos.

Palabras llaves: Atributos del suelo. Agroecología. Sistemas de cultivo. Tipos de uso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aérea da área de estudo. Os pontos em amarelo indicam os locais de amostragem dentro da área de estudo, onde SPD = Sistema Plantio direto; MN = mata nativa; POM = pomar; PN = pastagem naturalizada; e SCC = sistema de cultivo convencional.	23
Figura 2 - a) Vista da área de estudo da MN. b) Detalhe do local de coleta das amostras.	24
Figura 3 - Vista da área de estudo da PN.	25
Figura 4 - Vista da área de estudo POM - videira.	26
Figura 5 - a) Área de estudo do SCC com cultivo de milho X Adubação verde de verão; b) Amostra do solo sob cobertura de adubação verde de verão.	26
Figura 6 - a) Vista da área de estudo do SPD, sendo cultivada com soja; b) Detalhe do solo da área estudada, sob cultivo de soja.	27
Figura 7 - Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas. a) Anel com amostra; b) Amostrador; c) Martelo.	28
Figura 8 - Amostras preparadas para determinação de textura através do Método da pipeta – Laboratório UFFS/Chapecó.	30
Figura 9 - Permeâmetro de carga constante do Laboratório de Física do solo da UFSM – Campus Frederico Westephalen.	32
Figura 10 – Medições da Resistência a Penetração na área de estudo.	33
Figura 11– Densidade do solo determinada nos diferentes sistemas de manejo e profundidades (cm) do solo da área de estudo.	39
Figura 12 – Correlação dos valores Argila no solo e densidade do solo (Ds).	41
Figura 13 – Correlação dos valores de carbono orgânico (CO) do solo e densidade do solo (Ds).	41
Figura 14 - Correlação entre densidade do solo (Ds) e resistência mecânica a penetração (RP) nas amostras estudadas. A linha tracejada mostra o intervalo de confiança a 5% de probabilidade.	44
Figura 15 - Correlação entre teor de argila do solo e resistência mecânica a penetração (RP) nas amostras estudadas.	45
Figura 16 – Porosidade total do solo (Pt) nas diferentes profundidade e tipos de uso/manejo estudados.	46
Figura 17 – Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$) determinada nas diferentes profundidades e sistemas de manejo estudados.	47

Figura 18 – Microporosidade do solo (Mic) nas diferentes profundidade e sistemas de manejo estudados.	49
Figura 19 – Condutividade hidráulica saturada (Ksat) determinada nas diferentes profundidade e sistemas de manejo da área de estudo.	50
Figura 20 - Correlação entre teor de argila do solo e Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat) nas amostras estudadas.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de carbono orgânico (g kg^{-1}), argila (g kg^{-1}), areia total (g kg^{-1}), silte (g kg^{-1}) e classe textural nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo (média de 3 repetições).....	35
Tabela 2 - Teor médio de carbono orgânico (CO) do solo (g kg^{-1}) nas diferentes profundidades estudadas.....	37
Tabela 3 - Densidade do solo (D_s) determinada nos diferentes sistemas de manejo estudados.	39
Tabela 4 – Resistência à penetração (RP) nas diferentes profundidades e sistemas estudados.	42
Tabela 5 - Porosidade Total do solo (Pt) determinada nos diferentes sistemas de manejo estudados.	46
Tabela 6 - Macroporosidade do solo (Mac) determinada manejo estudados.	48
Tabela 7 - Teste F do Carbono do solo (CO).	64
Tabela 8 - Teste F para Argila.	65
Tabela 9 - Teste F para D_s	66
Tabela 10 - Teste F para RP.	67
Tabela 11 - Análise da variância para Pt.	68
Tabela 12 - Teste F para Mac.	69
Tabela 13 - Teste F para K_{sat}	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	PARAMETROS FISICOS E HIDRÍCOS DO SOLO	16
3.1.1	Densidade do solo (Ds).....	16
3.1.2	Resistência mecânica a Penetração (RP)	17
3.1.3	Porosidade do solo	18
3.1.4	Condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat).....	20
3.2	INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MANEJOS NA QUALIDADE DOS SOLOS ..	20
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	ÁREA DE ESTUDO	23
4.2	TIPOS DE USO E SISTEMAS DE MANEJO.....	24
4.2.1	Mata Nativa (MN).....	24
4.2.2	Pastagem Naturalizada (PN)	25
4.2.3	Pomar (POM).....	25
4.2.4	Lavouras sob sistema de cultivo convencional (SCC) e sistema plantio direto (SPD)	26
4.3	AMOSTRAGEM.....	27
4.4	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	28
4.5	ANÁLISES REALIZADAS	28
4.5.1	Carbono orgânico do Solo (CO)	28
4.5.2	Análise granulométrica	29
4.5.3	Microporosidade (Mic), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e condutividade hidráulica saturada (Ksat).....	31
4.5.4	Resistência à penetração (RP)	33
4.5.5	Análise dos resultados	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	CARBONO ORGÂNICO (CO) DO SOLO	35
5.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (ARGILA, AREIA E SILTE)	37
5.3	DENSIDADE DO SOLO (Ds)	38

5.4	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO (RP).....	42
5.5	POROSIDADE TOTAL (Pt), MICROPOROSIDADE (Mic) E MACROPOROSIDADE (Mac)	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICES	64

1 INTRODUÇÃO

O solo é a base da sobrevivência humana no planeta, pois é nele que se produzem alimentos, coleta-se água, fixam-se as construções, entre outros feitos. Desta forma, preocupar-se com a qualidade dos solos é se preocupar com a continuidade da vida no planeta, ou seja, se ele é a base, precisamos cuidá-lo da melhor forma.

Contudo, a implantação de sistemas agrícolas de baixa sustentabilidade tem ocasionado degradação das terras e um rápido declínio no potencial produtivo dos solos, devido principalmente às rápidas perdas de matéria orgânica, a degradação de sua estrutura (CASSEL; LAL, 1992 apud WATANABE et al., 2000) e aos processos erosivos (FAO, 2011). A degradação das terras é intensificada ainda mais com a implantação, em larga escala, de sistemas agrícolas intensivamente mecanizados (WATANABE et al., 2000).

A FAO (2011) recomenda o uso de práticas agrícolas inovadoras, como a agricultura de conservação, sistemas agroflorestais e integração da produção vegetal e pecuária, buscando a produção de forma eficiente para garantir a segurança alimentar e combater a pobreza, restringindo ao mesmo tempo os impactos sobre os ecossistemas. Ainda, apresenta algumas experiências bem sucedidas, as quais podem servir de exemplo na busca de conhecimento para replicação em outros locais do planeta.

Segundo Labatut (2014) a ONU e FAO, declararam o ano de 2015 como o “Ano Internacional do Solo” e este fato se deve aos novos dados divulgados pela FAO sobre a degradação dos solos, elevando o percentual para 33%. A degradação dos solos pode ser por razões físicas, químicas ou biológicas, mas a principal cause é a erosão hídrica. Com isso, tem se evidenciado a redução da cobertura vegetal, a diminuição da fertilidade, a contaminação do solo e da água e, conseqüentemente, o empobrecimento das colheitas.

Os sistemas de uso e manejo dos solos podem influenciar a sustentabilidade e a produtividade dos ecossistemas agrícolas por meio da degradação de propriedades do solo que determinam o desenvolvimento e a produtividade das culturas, com impactos na produção agrícola e no meio ambiente (PAGLIAI et al., 2004 apud VIANA et al., 2011).

Segundo Viana et al. (2011) atributos físicos do solo como a densidade, a resistência a penetração e a porosidade do solo, estão ligados à forma e a estabilidade estrutural do solo, servindo para avaliar os impactos que o uso e o manejo causam sobre sua qualidade. Além disso, segundo Embrapa (2006), estes atributos sofrem forte influência da matéria orgânica no solo (MOS), pois esta faz diminuir a Densidade do solo (Ds) e aumentar a Porosidade total (Pt), influenciando na estrutura e, conseqüentemente, na produtividade agrícola.

A preocupação com a degradação do solo e a perda da biodiversidade tem levado muitas organizações a incluir em suas agendas o debate da construção de novas alternativas produtivas, as quais têm foco sustentável, não apenas no caráter produtivo e comercial (alimentos mais saudáveis), mas também no aspecto social, que permitem a inclusão dos agricultores e acima de tudo garantem a preservação dos recursos naturais, em especial o solo, a água e as espécies. Estas novas alternativas são apresentadas num conjunto de práticas, englobadas na agroecologia.

Sistemas agroecológicos podem contribuir para o aumento da qualidade do solo a partir da adição da MOS e melhoria de seus atributos físicos. Entretanto, ainda não se pode afirmar como se comportam os atributos físicos do solo nestes sistemas, pois segundo Loss et al. (2009) ainda são poucos os estudos realizados sobre o tema, bem como as advindas modificações promovidas nas propriedades químicas do solo decorrentes do manejo agroecológico.

Assim, se faz necessário ampliar os estudos em solos manejados nestes sistemas produtivos e identificar efeitos positivos e/ou negativos que os mesmos geram sobre os atributos físicos do solo. Pode-se supor então, com base no exposto, que manejos com práticas ecológicas, tendem a ter influência positiva sobre os solos, pois propiciam maiores teores de carbono no solo, reduzem sua densidade e resistência à penetração, aumentando sua porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada.

2 OBJETIVOS

Desta forma, com base no exposto acima, este estudo têm por objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos que diferentes sistemas de manejo exercem sobre os atributos físicos dos solos do Assentamento Dom José Gomes no município de Chapecó - SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e avaliar os solos da área de estudo quanto o seu teor de CO do solo;
- Caracterizar e avaliar os solos da área de estudo quanto as variações no teor de argila, densidade do solo (Ds) macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt); resistência a penetração (RP) e condutividade hidráulica saturada (Ksat);

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo solo refere-se à camada externa e agricultável da superfície terrestre. Sua origem é a rocha que por ação de processos físicos, químicos e biológicos de desintegração, decomposição ou recombinação, transformou-se, no decorrer das eras geológicas, em material poroso de características peculiares (REICHARDT; TIMM, 2012).

O solo é constituído de três partes: sólida (mineral e orgânica), líquida (solução de sais minerais e componentes orgânicos), e gasosa (O_2 e CO_2) (REICHARDT; TIMM, 2012) e, até o final do século passado, entendia-se como função do solo, apenas servir de meio de crescimento das plantas. Entretanto, atualmente, também se reconhece como função dos solos a capacidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente, estocar e promover a ciclagem de elementos importantes para o desenvolvimento das plantas e animais e atuar como um tampão ambiental, ou seja, ter a capacidade de não deixar elementos ou substâncias tóxicas entrarem na cadeia alimentar (GIONGO; CUNHA, 2010).

Estas funções quando da interferência a partir do uso/manejo utilizado, podem sofrer melhorias ou redução da qualidade do solo. A qualidade, do ponto de vista físico, está associada àquele solo que: permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; possibilita o crescimento das raízes (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Para Stefanoski et al. (2013), os indicadores mais adequados para inferir a qualidade do solo são aqueles que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade dos agregados.

Portanto, o uso/manejo interfere na qualidade do solo a partir da modificação dos atributos físicos, químicos e biológicos do mesmo, podendo ser negativas como as operações agrícolas que envolvam mobilização e ou tráfego de máquinas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003) e positivas como a adição e balanço de matéria orgânica, a qual melhora ou mantém suas condições físicas (SAGRILLO et al., 2009).

3.1 PARAMETROS FISICOS E HIDRÍCOS DO SOLO

Os atributos físicos e hídricos estudados são descritos abaixo.

3.1.1 Densidade do solo (Ds)

A Ds é definida como sendo o quociente de sua massa de sólidos por seu volume. É afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações afetam propriedades físico-hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água, a disponibilidade de água às plantas e a resistência mecânica do solo a penetração (KLEIN, 2012).

A Ds geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as adjacentes provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores para os inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas (KIEHL, 1979).

Segundo Silva et al. (2003) a umidade do solo, o tipo de pneu, pressão de inflação, pressão de contato, profundidade de trabalho e especificações técnicas dos implementos utilizados quase sempre são desconsideradas no momento da entrada de máquinas nas lavouras, fatores que influenciam no adensamento do solo.

Geralmente, em solos minerais, a Ds varia de 0,9 a 1,8 g.cm⁻³ (KLEIN, 2012), dependendo da textura, dos teores de matéria orgânica do solo (CURTIS E POST, 1964 apud RICHART et al., 2005) e da frequência de cultivo (HAJABBASI; JALALIAN; KARIMZADEH, 1997 apud RICHART et al., 2005).

Os solos com maior teor de argila e MOS apresentam menor Ds, visto que os solos argilosos apresentam grande quantidade de microagregados, os quais são extremamente estáveis, permitindo a acomodação das partículas, onde sua porosidade interna é responsável pela menor densidade. Já a MOS apresenta densidade menor que 1 g cm⁻³, o que contribui na redução da densidade do solo (KLEIN, 2012).

Quando se avalia a Ds em diferentes sistemas de manejo e utilização do solo, é comum a presença de uma camada adensada e maciça nas camadas superficiais dos solos cultivados intensivamente, apresentando Ds elevada e maior resistência a penetração (RICHART et al., 2005).

Estas camadas são rompidas através de subsolagem, aração ou gradagem nos sistemas convencionais, porém em sistemas conservacionistas, como o sistema de semeadura direta ou sistema plantio direto (SPD), onde esta prática não ocorre, os mesmos geralmente apresentam maiores índices de densidade nas camadas superficiais. Esse aumento na Ds é atribuído ao adensamento natural da estrutura do solo, decorrente da ausência total ou parcial do revolvimento (CARVALHO Jr., 1998; TORMENA et al., 1998; BERTOL et al., 2000; VEIGA et al., 2008; DRESCHER, 2011).

Em estudos realizados por Carneiro et al. (2012) em sistemas de transição agroecológicos no MS, apontou-se que não houve efeito significativo entre os adubos verdes perenes consorciado com a bananeira para Ds nas profundidades de 0-5 cm e 15-30 cm, mas na profundidade de 5-15 cm, observou-se que o amendoim-forrageiro apresentou menor densidade do solo.

Os autores atribuíram isso as raízes do amendoim-forrageiro, as quais influenciaram em maior intensidade o arranjo das partículas do solo, proporcionando menor Ds, principalmente na segunda época de amostragem, cuja Ds foi menor nas camadas mais superficiais do solo.

Altieri (2012) também relata que o manejo agroecológico deve intensificar a ciclagem de nutrientes e da MOS e, para Klein (2012), este atributo reduz a Ds. Neste sentido, o manejo agroecológico tende a melhorar a estrutura do solo por meio da ação cimentante da MOS (SAGRILO et al., 2009), alterando seus índices de Ds.

Em um estudo sob sistema agroecológico realizado por Loss et al. (2009) num Argissolo, os autores observaram menores valores de Ds na camada de 0 a 5 cm para todas as áreas das coberturas vegetais e sistemas de cultivo estudadas quando comparados à camada de 5 a 10 cm. Esse fato é atribuído à constante adição de matéria orgânica e do menor revolvimento a que as áreas foram submetidas.

3.1.2 Resistência mecânica a Penetração (RP)

A RP é um dos principais motivos para o mau desenvolvimento das culturas, podendo ser identificada visualmente através da formação de raízes defeituosas, tortas ou superficiais. Segundo Richart et al. (2005), este parâmetro expressa o grau de compactação do solo, correlaciona-se positiva e exponencialmente com a Ds e negativa e exponencialmente com a umidade do solo (SILVA, 2003).

Para Silva (2003) é difícil dimensionar um valor de RP que seja limitante ao desenvolvimento radicular, da produção e massa seca de grãos das plantas, pois os experimentos realizados utilizam diferentes espécies vegetais, tipos de solos e condições de condução do experimento. Além disso, no campo, ocorre a variabilidade espacial e temporal da umidade do solo e da Ds aliada aos poros biológicos, rachaduras e fendas, o que também permite um desenvolvimento em condições de RP elevada. Estes aspectos não são identificados quando se realiza a medição da RP através de penetrômetro.

Na literatura são apresentados diversos valores de resistência à penetração como limitante de crescimento e produção das plantas. Para Reinert et al. (2008) valores de RP acima de 2 MPa já são críticos ao crescimento radicular, interferindo na produtividade das plantas. Contudo, para Reichert, Suzuki & Reinert (2007) seria importante padronizar estudos com a inclusão da umidade durante a avaliação da resistência à penetração para que diferentes pesquisas pudessem ser comparadas.

Na prática, durante o ciclo das plantas, estas estão submetidas a períodos de alta e de baixa resistência a penetração (MARTINO & SHAYKEWICH, 1994 apud SILVA, 2003), o que se atribui a variação espacial e temporal da umidade. Assim, a importância do sistema de manejo do solo ou de condições de lavouras com menor estado de compactação reside no período (dias) em que o solo permanece em condições hídricas não limitantes ao crescimento radicular (SILVA, 2003).

3.1.3 Porosidade do solo

A porosidade total é descrita como a porcentagem do volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água (CURI et al., 1993 apud PICKLER, 2012). Segundo Kiehl (1979) a porosidade depende, principalmente, da textura e da estrutura do solo, sendo que em média, é variável de 35 a 50% em solos arenosos, predominando macroporos, e de 40 a 60% em solos argilosos, predominando microporos.

A microporosidade se refere aos poros capazes de exercer função de retenção de água e transporte de solutos por capilaridade (KIEHL, 1979). Enquanto que a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, na drenabilidade do solo e na sua capacidade de aeração (HILLEL, 1998; RICHART et al., 2005).

Kiehl (1979) classifica como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm. Já Klein & Libardi (2002), classificam como macroporos, aqueles maiores que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6

kPa), microporos, aqueles entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros menores que 0,0002 mm (que perdem a água apenas com tensões maiores que 1500 kPa).

A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas do solo (KLEIN, 2012). Para um bom desenvolvimento as plantas necessitam no mínimo de 6 a 20% de macroporos, sendo que a variação depende do tipo de solo (HILLEL, 1970; KLEIN, 2012). Porém, vários autores sugerem que o solo ideal deve conter 50% de seu volume total ocupado por poros, sendo distribuído em 1/3 (16,65%) de macroporos e 2/3 (33,5%) de microporos (KIEHL, 1979; BRADY & WEIL, 2008).

Em estudos realizados em sistemas de transição para a agroecologia por Carneiro et al. (2012) observou-se um maior volume de poros nas camadas mais superficiais do solo (0-5 cm e 5-15 cm). Na camada de 15-30 cm de profundidade observou-se maior volume total de poros na segunda época de amostragem. Os autores atribuíram isso aos sistemas de cobertura de solo e o efeito das raízes no solo.

O SPD, além de reduzir a porosidade total, muda drasticamente à distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho (VAN OUWERKEK & BOONE, 1970 apud TORMENA et al., 2002). Tormena et al. (2002) relata que as implicações destes resultados são de que o solo sob preparo convencional poderia drenar mais rapidamente do que aquele com menor intensidade de mobilização e influenciar temporalmente a disponibilidade de água às plantas.

A Pt, a profundidade a ser aerada e o nível de consumo de O₂ pelas plantas, interferem na Mac mínima necessária para uma oxigenação completa de um sistema radicular (VAN LIER, 2001). O autor percebeu que para culturas com sistema radicular superficial (em torno de 10 cm), os valores de Mac mínimos estariam ao redor de 0,05 m³ m⁻³, enquanto para culturas com sistema radicular mais profundo, com alto consumo de O₂ e associadas a climas tropicais os valores passariam a 0,20 m³ m⁻³.

Os valores de porosidade de aeração abaixo de 10-15% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas, apesar da dependência da espécie de planta e da atividade biológica do solo (TORMENA, et al., 2002).

3.1.4 Condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat)

A condutividade hidráulica é um parâmetro hídrico do solo, o qual quantifica a capacidade do solo em deixar passar água através do seu perfil, ou seja, é a medida da facilidade com que a água é conduzida através do solo. Ela está diretamente ligada ao tamanho, volume e distribuição dos poros da amostra investigada e varia para os diferentes tipos de solo existentes (SCHERPINSKI, 2003 apud SANTOS 2008).

Em estudos realizados por Sauer et al. (1990) apud Silva (2003), analisando propriedades hidráulicas do solo, observaram que a Ksat foi menor no preparo convencional do que no SPD, embora houvesse maior volume de macroporos no preparo convencional. Silva (2003) atribuiu isso ao fato de que a maior influência na Ksat se deve à continuidade dos poros e não apenas ao volume de macroporos, o que está relacionada diretamente com as práticas de manejo e o adensamento do solo. No caso, com a aração e gradagem existe a destruição dos macroporos bem como a continuidade dos poros ao longo do perfil, o que não acontece em sistemas onde o solo não é revolvido.

A Ksat foi altamente influenciada pelos sistemas de manejo (KLEIN, 2012). Para o autor, quando se compara os manejos há uma tendência de comportamento inverso da condutividade com a densidade do solo.

Em estudos realizados por Lima et al. (2007) em áreas de cultivo orgânico, algumas amostras apresentaram níveis moderadamente altos de Ksat, seguida de áreas, com níveis moderados, e outras moderadamente baixos. Os valores mais elevados de Ksat foram observados nas áreas onde a fração granulométrica era mais grosseira, visto que isso favorece a rápida condução da água no solo. No estudo, entretanto, observou-se uma elevada variabilidade dos valores de Ksat ($CV > 50\%$), o que não permitiu melhor distinção da Ksat entre os manejos estudados.

3.2 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE MANEJOS NA QUALIDADE DOS SOLOS

Os atributos físicos do solo sofrem interferência dos sistemas de manejo a que estão submetidos. Esta interferência pode ser positiva, onde os atributos são mantidos ou melhorados em comparação aqueles de ambientes não antrópicos e negativa quando seus índices são próximos ou estão abaixo daqueles considerados limitantes ao crescimento das plantas.

Segundo Sagrilo et al. (2009) o cultivo de adubos verdes interfere positivamente sobre os atributos físicos do solo, principalmente pela adição de matéria orgânica. No caso, muitos adubos verdes apresentam sistema radicular bem desenvolvido, os quais conseguem romper camadas compactadas e com isso melhorar a produtividade das culturas subsequentes.

Em estudos realizados por Silva, Reinert & Reichert (2000), comparando a produção de grãos em diversos sistemas de cultivo, observou-se que as raízes de milho se correlacionaram inversamente com a Ds na camada de 10-25 cm, em um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. Já para o mesmo solo, as raízes do feijão preto apresentaram maior quantidade e melhor distribuição lateral e em profundidade no preparo convencional do que no SPD e preparo reduzido. No SPD, as raízes concentraram-se na camada de 5-15 cm, porém algumas ultrapassaram a camada compactada e cresceram em profundidades maiores que 30 cm. No preparo reduzido, as raízes concentraram-se até à profundidade de 25 cm (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Em um Argissolo Vermelho distrófico típico, com textura superficial média e subsuperficial argilosa, sob SPD, Reinert et al. (2008) observaram crescimento normal das plantas de cobertura até o limite de densidade de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$. Entre $1,75$ e $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, apresentava restrições com deformações na morfologia das raízes em grau médio e, acima de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, as deformações radiculares foram significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial.

Em geral, os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas, como permeabilidade, estrutura, Ds e espaço poroso, agronomicamente desejável. Nessa situação, o volume de solo explorável pelas raízes é grande. Entretanto, à medida que os solos vão sendo trabalhados moto mecanicamente, consideráveis alterações físicas ocorrem (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000).

Contudo, quando se trata dos solos utilizados para a pecuária, Silva et al. (2004) apud Ferreira, Filho & Ferreira (2010) retrataram que a adoção da mesma lotação durante todo o ano é uma prática comum e que ocasiona utilização do pasto além da capacidade de suporte das áreas, o que contribui para acelerar o processo de degradação das pastagens e também do solo.

Segundo os autores, o pisoteio animal em toda superfície e repetidamente no mesmo local, promove alterações consideráveis nas condições físicas do solo e interfere no crescimento do sistema radicular das pastagens. O tipo e o nível destes efeitos são determinados pela taxa de pisoteio, pelo tipo de solo e, principalmente, pela umidade do solo

na ocasião do pastejo, o qual sendo realizado com umidade elevada potencializa a degradação física do solo.

Em um estudo num pomar de laranja, Lima et al. (2004) apontam que os índices de compactação eram menores na linha de plantio e aumentavam no sentido projeção da copa das plantas, rodado das máquinas e entre-rodado, ou seja, quanto menor o tráfego de máquinas e pessoas, menor os índices de compactação.

Neste sistema, diferente das culturas anuais em sistema convencional, não é possível revolver o solo anualmente, pois esta prática causaria danos nas raízes das frutíferas, comprometendo a absorção de água e nutrientes, refletindo-se em redução da produtividade (SCHERER et al., 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado nas propriedades do Sr. Álvaro Santin (Mata Nativa - MN, Pastagem Naturalizada - PN, Pomar - POM e Sistema de Cultivo Convencional - SCC) e Edemar Pizzinatto (Sistema Plantio Direto - SPD), no assentamento Dom José Gomes, localizado na comunidade de Água Amarela, município de Chapecó, região Oeste de Santa Catarina. As propriedades rurais foram instaladas em 2009 a partir da desapropriação gerada pela Portaria/INCRA/SR-10/Nº 012/2008 e estão localizadas nas coordenadas 27°11'29" S e 52°34'18" O, e 27°11'10" S e 52°34'17" O, respectivamente (Figura 1).

Segundo Pandolfo et al. (2002), a Classificação Climática de Koppen na região é do tipo Cfa, isto é, Clima Subtropical Úmido sem estação seca definida e de verões quentes. A temperatura média do mês mais quente (Janeiro) é maior que 22 ° C e a do mês mais frio (Julho) variam entre 10 e 15 ° C. A altitude média no local é de 700 metros acima do nível do mar e a precipitação média anual varia de 1700 a 1900 mm.

Os solos encontrados na região do assentamento são provenientes das rochas do grupo São Bento - Formação Serra Geral, com relevo ondulado a fortemente ondulado, predominando Cambissolos, Nitossolos Brunos e Latossolos Brunos (COOPTRASC, 2009). Especificamente na área de estudo, o solo é um Latossolo Bruno para os usos sob pastagem naturalizada (PN), pomar (POM), sistema de cultivo convencional (SCC) e sistema plantio direto (SPD), sendo que para a área sob mata nativa (MN) trata-se de um Cambissolo Háplico.

Figura 1 - Vista aérea da área de estudo. Os pontos em amarelo indicam os locais de amostragem dentro da área de estudo, onde SPD = Sistema Plantio direto; MN = mata nativa; POM = pomar; PN = pastagem naturalizada; e SCC = sistema de cultivo convencional.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir Google Earth (2015).

4.2 TIPOS DE USO E SISTEMAS DE MANEJO

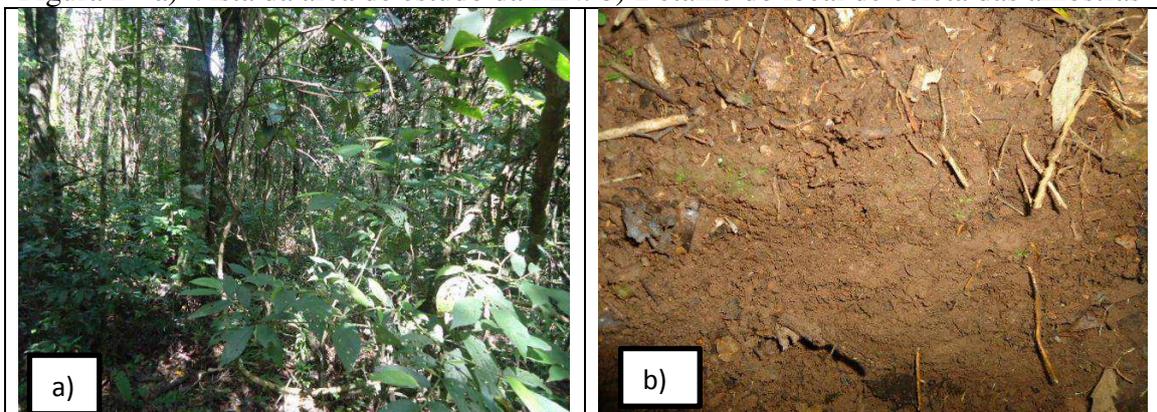
Os diferentes usos e sistemas de manejo da área de estudo têm suas origens semelhantes, isto é, depois da retirada da mata nativa da região oeste do Estado de SC, as áreas foram utilizadas para pecuária extensiva com pastagens de grama missioneira (*Axonopus jesuiticus*), exceto nos locais onde ocorria o plantio de milho (*Zea mays*) para produção de silagem.

Neste estudo foram avaliados 04 usos distintos que por conveniência chamaremos de sistemas de manejo: mata nativa (MN), pastagem naturalizada (PN), pomar de citros + videira (POM) e duas áreas de lavouras, conduzidas sob sistema de cultivo convencional (SCC) e sistema plantio direto (SPD). Segue abaixo uma breve descrição da forma de condução de cada um dos sistemas utilizados.

4.2.1 Mata Nativa (MN)

A área estudada se encontra na Reserva Legal (79,13 ha) do assentamento, a qual teve sua formação natural e não houve exploração pelo homem até o momento. Na área é encontrada a Floresta Ombrófila Mista em transição com a Floresta Estacional Decidual (COOPTRASC, 2009). Na área do estudo (Figura 2), estes remanescentes foram preservados em função do seu relevo muito declivoso, o qual dificulta o acesso de máquinas e mesmo de implementos de tração animal.

Figura 2 - a) Vista da área de estudo da MN. b) Detalhe do local de coleta das amostras



Fonte: Marcelo Kehl (2015)

4.2.2 Pastagem Naturalizada (PN)

Esta área (Figura 3), que compreende aproximadamente 0,9 ha e que foi colonizada por grama missioneira não sofre revolvimento durante o ano e também não tem tráfego de máquinas, recebendo os animais da propriedade (lotação de 10 animais/ha) quando estes não estão nas pastagens cultivadas. Desde a criação do assentamento em 2009, esta área não passou por nenhum processo de melhoramento (adubação, sobre semeadura, etc.) e está sendo conduzido de forma agroecológica.

Figura 3 - Vista da área de estudo da PN.



Fonte: Marcelo Kehl (2015).

4.2.3 Pomar (POM)

Na área do pomar (Figura 4), a primeira ação executada depois da implantação da propriedade em 2009 foi eliminar a grama missioneira através de aração e gradagem, sendo à época a última entrada de máquinas na área. No ano de 2010 a área foi calcareada (4000 kg ha^{-1}) para a implantação do pomar de citros (*Citrus sinensis*) + videira (*Vitis vinifera*).

Nas covas de implantação foi adicionado no momento do plantio pó de basalto (300 g/cova) e cama de aviário ($2,5 \text{ kg/cova}$). As plantas estão dispostas em linhas individuais no sentido leste/oeste, espaçadas em $4 \times 4 \text{ m}$ para o citros e $1,5 \times 3 \text{ m}$ para as videiras, sendo na parte mais baixa o pomar de citros e na parte mais alta o pomar de videira. Este sistema está sendo conduzido de forma agroecológica. A área é cercada e serve de espaço para circulação de galinhas de postura e corte.

Figura 4 - Vista da área de estudo POM - videira.



Fonte: Marcelo Kehl (2015)

4.2.4 Lavouras sob sistema de cultivo convencional (SCC) e sistema plantio direto (SPD)

A área conduzida sob SCC (Figura 5) e que era coberta por grama missioneira, atualmente é cultivada por culturas anuais. Durante o verão recebe cultivos anuais de milho, feijão (*Phaseolus vulgaris* L) e mandioca (*Manihot esculenta*) e no inverno é utilizada com pastagem de aveia (*Avena strigosa*) ou azevém (*Lolium multiflorum*). O revolvimento é realizado duas vezes ao ano, a priori da semeadura das culturas. Uma calagem foi realizada na área em 2012 utilizando-se $3,5 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de calcário, objetivando elevar o pH a 5,8. Além disso, a área também recebeu 2 Mg ha^{-1} cama de aviário no ano de 2013 e na safra 14/15 foi cultivada com milho, com condução agroecológica.

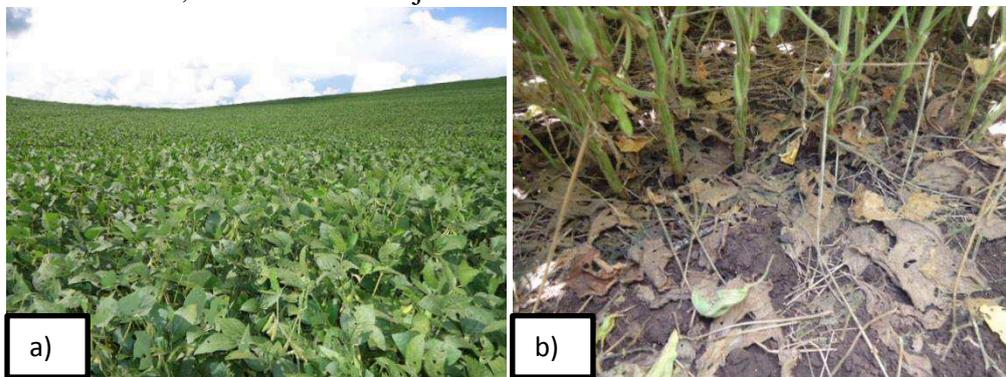
Figura 5 - a) Área de estudo do SCC com cultivo de milho X Adubação verde de verão; b) Amostra do solo sob cobertura de adubação verde de verão.



Fonte: Marcelo Kehl (2015)

A área conduzida sob SPD era cultivada com milho para a produção de silagem, porém, de 2002 a 2008 ficou em pousio. A partir de 2008, foi introduzida a produção de soja (*Glycine max*). Durante o inverno estabelece-se na área o azevém e frequentemente plantas espontâneas. Nesta área, existe uma circulação intensa de máquinas para realização da semeadura e colheita das culturas, bem como para a realização dos demais tratos culturais das culturas anuais. A área recebe apenas a adubação química (NPK), não sendo adicionados adubos orgânicos em superfície, sendo o sistema conduzido no modelo convencional.

Figura 6 - a) Vista da área de estudo do SPD, sendo cultivada com soja; b) Detalhe do solo da área estudada, sob cultivo de soja.



Fonte: Marcelo Kehl (2015)

4.3 AMOSTRAGEM

Em junho de 2014, em cada sistema de manejo da área de estudo e nas profundidades de 0-5 cm (1), 5-10 cm (2), 10-20 cm (3) e 20-30 cm (4), foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de $\cong 5$ cm de diâmetro e 5 cm de altura (Figura 7), as quais foram utilizadas para a determinação da porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), condutividade hidráulica saturada (Ksat) e densidade do solo (Ds). As amostras foram coletadas em 3 repetições, perfazendo um total de 60 amostras.

Além de amostras indeformadas, com o auxílio de uma pá de corte, também foram coletadas nas diferentes profundidades em cada sistema de manejo, amostras deformadas de solo para a determinação dos teores de carbono orgânico (CO) do solo e análise granulométrica.

Figura 7 - Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas. a) Anel com amostra; b) Amostrador; c) Martelo.



Fonte: Marcelo Kehl (2015).

4.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Depois das coletas, as amostras indeformadas foram transportadas até o laboratório de física do solo da UFSM, campus Frederico Westphalen, onde o excesso de solo ao redor de ambas as bordas dos anéis foi retirado com o auxílio de uma faca, cuidando-se para não destruir nem compactar a amostra de solo contida nos mesmos. Depois de removido o excesso de solo, a base de cada anel foi envolta com um pequeno pedaço de tecido de algodão poroso, o qual foi fixado com um atilho para evitar perda de solo durante a saturação e realização das análises.

As amostras deformadas, depois de coletadas foram transportadas até o laboratório de solos do campus Chapecó da UFFS onde foram secas em estufa a 50 °C, destorroadas, moídas, peneiradas em peneira de diâmetro de malha de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos até a determinação do CO do solo e análise granulométrica.

4.5 ANÁLISES REALIZADAS

A seguir são descritas as análises realizadas.

4.5.1 Carbono orgânico do Solo (CO)

Para determinação do CO do solo usou-se o processo de oxidação úmida do carbono com dicromato de potássio em meio sulfúrico com aquecimento em bloco digestor – Método do Bloco Digestor (Adaptado de Embrapa, 1997).

Desta forma, pesou-se e colocou-se 0,1 g de amostra em tubo de ensaio de 250 mL, pipetou-se 10 mL de uma solução em meio ácido de Dicromato de Potássio 0,4 N e aqueceu-se a amostra em bloco digestor por 30 min a uma temperatura de 140 °C a 150 °C. Depois de aquecidas, as amostras foram retiradas do bloco digestor, esfriadas, adicionado 80 mL de água deionizada, 2 mL de ácido ortofosfórico concentrado, 3 gotas de difenilamina e tituladas com uma solução de Sulfato Ferroso Amoniacal Hexahidratado 0,1 N até a viragem da cor da solução passar de azul escuro para verde claro. O mesmo procedimento foi realizado com as provas em branco, isto é, sem o solo.

O teor de carbono nas amostras foi calculado pela fórmula 1 abaixo:

$$C(\text{g kg}^{-1}) = \frac{V_{\text{sf}_B} - V_{\text{sf}_{\text{Am}}} \times 0,3}{P_{\text{am}}}, \quad (1)$$

onde C = teor de carbono orgânico na amostra em g kg⁻¹; V_{sf_B} é o volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na prova em branco; V_{sf_{Am}} é o volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na amostra; e P_{am} é quantidade da amostra utilizada em gramas.

4.5.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica (Figura 8) foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). Desta forma, pesou-se e colocou-se 20 g de amostra em recipiente de vidro, adicionou-se 100 mL de água deionizada e 10 mL de solução de NaOH 1N. Depois de fechados, os recipientes foram agitados por 12 horas e a fração areia separados das frações argila + silte por peneiramento (53 µm). A fração areia foi então armazenada em beakers de vidro previamente limpos, seca em estufa a 105 °C durante 24h e pesada. A solução contendo argila + silte foi coletada em proveta de 1000 mL, a qual depois de completado o volume para 1000 mL foi agitado com stirrer durante 30 s. Depois de agitado, aferiu-se a temperatura e determinou-se o tempo de sedimentação da fração silte segundo a Lei de Stokes. Concluído este tempo, coletou-se 50 mL da suspensão a uma profundidade de 5 cm dentro da proveta, transferiu-se a amostra para becker previamente limpo e secou-se em estufa a 105 °C durante 48h. Depois de seca, as amostras foram esfriadas em dessecador e pesadas. O mesmo procedimento foi realizado para a prova em branco, isto é, sem amostra.

Figura 8 - Amostras preparadas para determinação de textura através do Método da pipeta – Laboratório UFFS/Chapecó.



Fonte: Marcelo Kehl, 2014.

Os teores das frações argila, areia e silte foram realizados conforme as fórmulas 2, 3 e 4 abaixo, respectivamente:

$$\text{Arg} = [(m_{\text{arg}} + m_{\text{d}}) - m_{\text{d}}] \times 1000 \quad (2)$$

Onde Arg = teor de argila (g kg^{-1}); m_{arg} = massa de argila (g) e m_{d} = massa de dispersante na prova em branco (g).

$$\text{Ar} = m_{\text{ar}} \times 50, \quad (3)$$

onde Ar = teor de areia na amostra dado em g kg^{-1} ; m_{ar} = massa de areia na amostra dado em g.

$$\text{Silte} = 100 - \text{Arg} - \text{Ar}, \quad (4)$$

onde Silte = teor de silte dado em g kg^{-1} ; Arg = teor de argila dado pela fórmula 2 e Ar = teor de areia na amostra dado pela fórmula 3.

4.5.3 Microporosidade (Mic), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e condutividade hidráulica saturada (Ksat)

Depois de saturadas, as amostras contidas nos anéis volumétricos foram pesadas e colocadas em mesa de tensão para a determinação da Mic do solo conforme EMBRAPA (1997). Resumidamente, depois de colocadas na mesa de tensão, o nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d'água foi ajustado. Para evitar a quebra da coluna d'água, o nível de sucção foi regulado de 10 em 10 cm até atingir os 60 cm, esperando-se pelo menos 2h entre cada intervalo na mesa de tensão. Setenta e duas (72) horas depois de estabilizada a 60 cm, os cilindros foram retirados da mesa e pesados.

Depois de pesados as amostras foram ressaturadas durante 48 h e realizada a condutividade hidráulica saturada (Ksat) conforme EMBRAPA (1997). Resumidamente, depois de re-saturadas, as amostras foram transferidas para permeâmetro de carga constante (Figura 9), aplicado uma carga hidráulica de 2 cm de altura e medido o fluxo de água percolado pela amostra. O volume de água percolado foi medido em intervalos de 5 minutos até o volume medido ser constante.

A Microporosidade (Mic) do solo foi calculada utilizando-se a fórmula 5 abaixo:

$$\text{Mic} = \frac{(a-b)}{c}, \quad (5)$$

onde, a = massa da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água; b = massa da amostra seca a 105°C (g) e c = volume do cilindro.

A densidade do solo (Ds) é calculada conforme a fórmula 6 abaixo:

$$D_s = \frac{\text{mss}}{v}, \quad (6)$$

onde mss = a massa de solo seco a 105 °C e v = volume do anel.

A Porosidade total do solo (Pt) foi calculado conforme a fórmula 7 abaixo:

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

onde D_s = densidade do solo determinada pela fórmula 6 e D_p = densidade de partículas ou densidade real do solo ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$).

A macroporosidade (Mac) do solo é calculada por diferença conforme a fórmula 8 abaixo:

$$Mac = Pt - Mic, \quad (8)$$

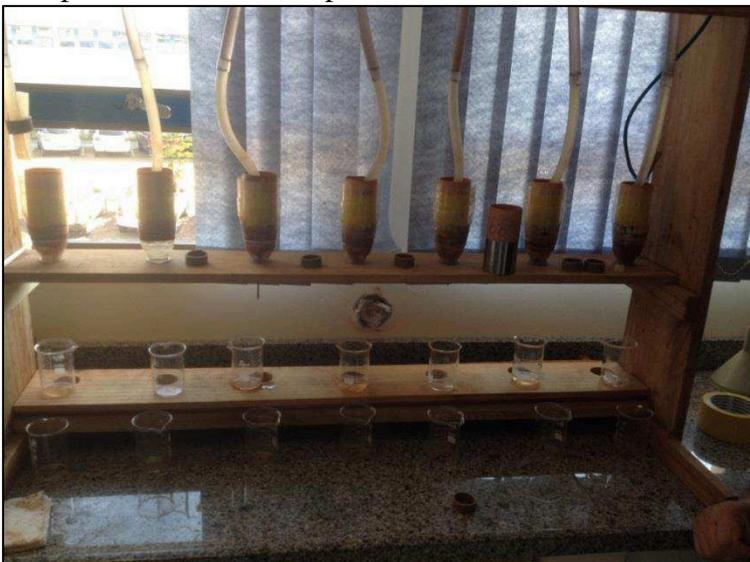
onde Pt = a porosidade total dada pela fórmula 7 e a Mic = é a microporosidade do solo dada pela fórmula 5.

Para calcular a K_{sat} das amostras, utilizou-se a equação de Darcy dada pela fórmula 9 abaixo:

$$K_{sat} = \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \quad (9)$$

Onde K_{sat} = condutividade hidráulica em mL min^{-1} ; Q = volume do percolado em mL, ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas últimas leituras quando há alguma variação; L = altura do bloco do solo em cm; h = altura do bloco do solo + da coluna d' água em cm; A = área do cilindro em cm^2 e t = tempo em horas.

Figura 9 - Permeâmetro de carga constante do Laboratório de Física do solo da UFSM – Campus Frederico Westephalen.



Fonte: Fernando Perobelli Ferreira (2014)

4.5.4 Resistência à penetração (RP)

As medidas de RP foram realizadas utilizando-se um penetrômetro automático da marca Falker Modelo Solo Track PLG 5300 (Figura 10). O penetrômetro estava equipado com uma haste metálica contendo um cone do tipo 2, com ângulo de abertura de 30° (indicado para uso em solos argilosos) em uma das extremidades sendo as medidas realizadas a velocidade constante de 24 mm s⁻¹ e com resolução centimétrica a partir da superfície até a profundidade de 40 cm.

As medidas foram realizadas em local próximo aos três locais de coleta de amostras indeformadas em cada área, com umidade próxima a capacidade de campo (CC), isto é, 48 horas depois de uma precipitação (MATA; GONÇALVES; VIEIRA, 1998) e realizando-se para cada repetição, 10 subamostras.

Os dados obtidos foram então transferidos para computador utilizando-se o software disponível com o equipamento e com a utilização de uma planilha eletrônica foram calculadas as médias para cada profundidade considerada em cada repetição dos diferentes sistemas de manejos estudados.

Figura 10 – Medições da Resistência a Penetração na área de estudo.



Fonte: Marcelo Kehl (2014)

4.5.5 Análise dos resultados

Os atributos físicos determinados nas amostras foram analisados através da análise descritiva geral, correlação de Pearson e submetidos à análise de variância pelo teste F a 5%

de probabilidade de erro num esquema fatorial 5 (sistemas de manejo) x 4 (profundidades). A interação e os fatores considerados significativos pelo teste F tiveram suas médias comparadas pelo teste T a 5% de probabilidade de erro. Os dados para cada variável foram considerados com distribuição normal, o que foi verificado pelo teste W ($p < 0,05$; SHAPIRO; WILK, 1965).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de CO do solo, granulometria e demais atributos físicos determinados no solo da área de estudo (Ds, Pt, Mic, Mac e Ksat) são apresentados e discutidos abaixo.

5.1 CARBONO ORGÂNICO (CO) DO SOLO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise do CO do solo determinadas nas amostras dos diferentes sistemas de manejo da área de estudo. No geral, o teor de CO variou de 17,8 g kg⁻¹(MN4) a 42,5 g kg⁻¹(PN1), o que está de acordo com os valores encontrados em estudos realizados no sul do Brasil para diferentes sistemas de manejo e solos (EMBRAPA, 2004; ALBUQUERQUE et al., 2005; SILVA et al., 2006; MAFRA et al., 2008).

Tabela 1 – Teor de carbono orgânico (g kg⁻¹), argila (g kg⁻¹), areia total (g kg⁻¹), silte (g kg⁻¹) e classe textural nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo.

Uso/Sistema	CO	Argila	Areia	Silte	Classe textural
MN1	28,4	425,5	179,1	395,5	Argila
MN2	26,0	486,5	125,7	387,8	Argila
MN3	20,1	503,0	100,7	396,3	Argila
MN4	17,8	506,0	105,2	388,9	Argila
Média	23,1 c*	480,3	127,6	392,1	-
PN1	42,5	626,5	92,1	281,4	Muito Argiloso
PN2	38,4	608,5	115,5	276,0	Muito Argiloso
PN3	32,7	593,7	155,5	250,9	Argila
PN4	27,5	618,5	106,8	274,7	Muito Argiloso
Média	35,3a	611,8	117,4	270,7	-
POM1	42,3	520,5	148,4	331,1	Argila
POM2	41,2	527,0	156,7	316,3	Argila
POM3	32,1	590,0	137,4	272,6	Argila
POM4	26,5	646,0	75,1	278,8	Muito Argiloso
Média	35,5 a	570,9	129,4	299,7	-
SCC1	35,7	649,0	51,0	300,0	Muito Argiloso
SCC2	35,4	674,0	42,6	283,4	Muito Argiloso
SCC3	34,9	694,0	37,2	268,8	Muito Argiloso
SCC4	27,7	715,0	31,6	253,4	Muito Argiloso
Média	33,4ab	683	40,6	276,4	-
SPD1	31,3	791,0	30,3	178,7	Muito Argiloso
SPD2	30,3	760,0	31,6	208,4	Muito Argiloso
SPD3	29,1	772,0	27,7	200,3	Muito Argiloso
SPD4	25,0	779,0	28,2	192,8	Muito Argiloso
Média	28,9 bc	775,5	29,45	195,0	-

* Médias gerais para casa sistema de manejo seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si em nível α de erro pelo teste T ($\alpha < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor

Contudo, pela análise da variância (Apêndice 1), não foi observado interação entre os sistemas de manejo e profundidades, o que indica que os mesmos atuam independentemente nas variações do CO do solo. Desta forma, desde que ocorreu variação estatística significativa pelo teste F entre os usos e entre as profundidades, discutir-se-ão os mesmos de forma separada no texto abaixo.

O teor médio de CO nos diferentes sistemas de manejo decresceu na seguinte ordem: POM > PN > SCC > SPD > MN. Assim, observou-se nos resultados que os maiores teores médios de CO do solo foram observados para o POM (35,5 g kg⁻¹) e PN (35,3 g kg⁻¹) e SCC (33,4 g kg⁻¹), os quais não diferiram estatisticamente entre si. Já a MN, ao contrário do esperado, foi o uso que apresentou o menor teor médio de CO do solo (23,1 g kg⁻¹) e não diferiu estatisticamente do SPD (28,9 g kg⁻¹).

Os maiores teores médios de CO do solo observados para POM e PN devem estar sendo ocasionados pela ação da pastagem existente nestas áreas como planta de cobertura. As gramíneas têm uma alta capacidade de incorporação de CO no solo não somente pela parte aérea, mas também porque seu sistema radicular apresenta grande crescimento e capacidade de renovação de raízes mortas, bem como é bem distribuído no solo (FREITAS et al., 2000; FERREIRA et al., 2007).

O teor de CO no solo sob SCC também não diferiu estatisticamente do POM e PN e os elevados teores observados devem estar sendo ocasionados pela adição de cama de aviário na área. A cama de aviário é feita de maravalha, a qual por ter em sua constituição material lenhoso triturado, tem uma relação C/N elevada devido a grande quantidade de lignina em sua composição, o que dificulta a sua decomposição no ambiente pelos microrganismos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) mesmo existindo revolvimento periódico no solo.

Para a MN, o menor teor de CO do solo observado, inclusive em relação ao SPD, poderia estar relacionado ou a um menor aporte de CO no solo pela mata no local de estudo ou ao menor teor de argila do solo (480,3 g kg⁻¹) em relação ao observado no solo dos demais tipos de sistemas de manejos aqui estudados, já que a sorção de compostos orgânicos por minerais de argila e no interior de agregados é uma das formas a qual o carbono se estabiliza e permanece nos solos (SKJEMSTAD et al., 1996 apud MARQUES, 2009). Contudo, não foi observada correlação entre o CO e os teores de argila determinados nas amostras neste estudo para suportar esta última hipótese.

Em relação aos baixos e significativamente menores valores de CO do solo observados no SPD em relação ao POM, PN e SCC, provavelmente a baixa qualidade do SPD adotado na área de estudo (sucessão soja/azevém) está ocasionando o resultado observado.

Neste sentido, Roscoe et al. (2006) salientam que os níveis de CO do solo sob SPD dependem bastante do tipo de manejo adotado, sendo que quando implantado sob áreas de vegetação nativa e/ou pastagens (como é o caso deste estudo) têm sido necessário um maior tempo para que os níveis de CO sob SPD superem os da vegetação anterior. Ainda, solos que tem pastagens como planta de cobertura e que por sua vez são conduzidos com boas práticas de manejo, mantêm-se produtivas e às vezes superam os níveis de CO observados em áreas nativas.

Em relação ao comportamento do CO do solo em profundidade (Tabela 2), na média, observou-se que ocorreu uma maior concentração desse em superfície e diminuição do mesmo em profundidade. Isto ocorre devido à deposição do material orgânico pelas plantas ocorrer, principalmente, nas camadas superficiais do solo e a mesma, na maioria dos casos, não ser translocada em profundidade (BRADY; WEIL, 2008) como ocorre na formação de Espodosolos.

Tabela 2 - Teor médio de carbono orgânico (CO) do solo (g kg^{-1}) nas diferentes profundidades estudadas.

Prof. (cm)	CO (g kg^{-1})
0 a 5 (1)	36,0 a
5 a 10 (2)	34,2 ab
10 a 20 (3)	29,7 bc
20 a 30 (4)	24,9 c

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (ARGILA, AREIA E SILTE)

A Tabela 1 também apresenta os resultados da análise granulométrica determinadas nas amostras coletadas nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo. No geral, o teor de argila das amostras variou de 425,5 (MN1) a 779,0 (SPD1) g kg^{-1} , o teor de areia variou de 27,7 (SPD4) a 179,1 (MN1) g kg^{-1} , o teor de silte variou de 178,7 (SPD1) a 396,3 (MN4) g kg^{-1} e a classe textural de argiloso (MN e PN3) a muito argiloso (PN, SCC e SPD).

O sistema de manejo que apresentou o maior teor médio de argila foi o SPD (775,5 g kg^{-1}) e o que apresentou o menor teor de argila foi a MN (480,3 g kg^{-1}). Ainda, observou-se que em todos os sistemas de manejo, o teor de argila aumentou levemente em profundidade, exceto para o PN, o qual o teor de argila foi aparentemente constante em profundidade.

De uma forma geral, os teores de argila determinados nas amostras deste estudo e seu comportamento em profundidade são similares aos encontrados para Latossolos e

Cambissolos em outros estudos realizados na região oeste de Santa Catarina (SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010; SCHERER; BALDISSERA; NESI, 2007) bem como aos dados encontrados no Levantamento de solos do Estado de Santa Catarina (EMBRAPA, 2004).

Na análise da variância não foi observada interação entre os sistemas e profundidades estudadas, mas variações significativas foram observadas entre os sistemas de manejo e profundidade (Apêndice 2). Contudo, desde que os sistemas de manejo não têm capacidade para alterar a textura do solo (BRADY; WEIL, 2008), a variação encontrada entre os sistemas de manejo na área de estudo, bem como as variações em profundidade, provavelmente são resultado da variabilidade espacial dentro da própria área de estudo, no caso dos manejos sob um mesmo solo (Latossolo), bem como aos diferentes tipos de solos encontrados na área (Latossolo e Cambissolo [MN]).

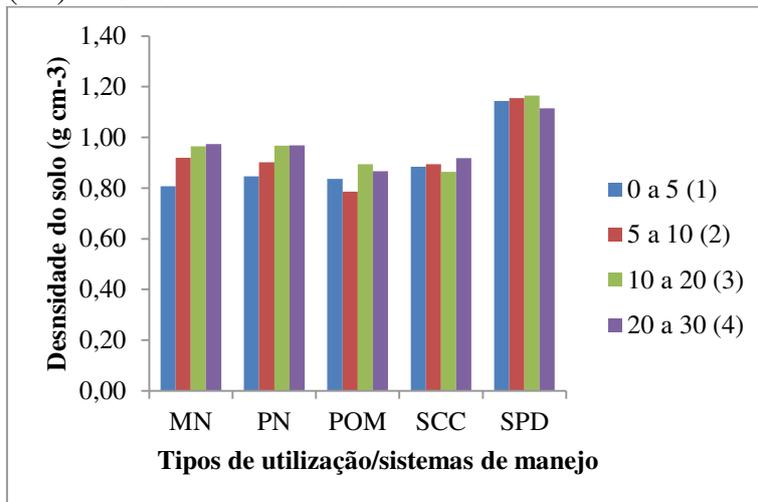
No caso dos diferentes tipos de solos encontrados, considerando que ambos estão inseridos em um mesmo clima e são formados a partir de um mesmo material de origem (basalto da formação serra geral), a variação no teor de argila encontrada provavelmente é o reflexo do estágio de intemperismo desses solos condicionados pela posição no relevo em que são encontrados.

O Latossolo é encontrado em relevo suave ondulado a ondulado, enquanto o Cambissolo em relevo forte ondulado. Relevos mais ondulados propiciam um maior deflúvio superficial e erosão geológica, enquanto que relevos menos ondulados permitem uma melhor infiltração da água no perfil favorecendo as reações químicas e desenvolvimento do intemperismo. Assim, à medida que o intemperismo é mais atuante em intensidade, mais degrada o material de origem e maior quantidade de argila é formada no solo (DEMATTE et al., 2011).

5.3 DENSIDADE DO SOLO (Ds)

A Figura 11 apresenta os valores e comportamento da Ds determinadas nas diferentes profundidades em cada uso/sistema de manejo estudados. No geral, a Ds variou de 0,79 g cm⁻³ (POM2) a 1,17 g cm⁻³ (SPD3) e, na média, o sistema de manejo que apresentou a maior Ds foi o SPD (1,14 Mg m⁻³) e o que apresentou a menor foi o POM (0,85 Mg m⁻³) (Tabela 3). Não existiu interação entre sistemas e profundidade e observou-se diferença significativa somente entre os sistemas de manejo estudados (Tabela 3).

Figura 11– Densidade do solo determinada nos diferentes sistemas de manejo e profundidades (cm) do solo da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Densidade do solo (Ds) determinada nos diferentes sistemas de manejo estudados.

Uso/sistema	Ds (Mg m ⁻³)
MN	0,92 b*
PN	0,92 b
POM	0,85 b
SCC	0,89 b
SPD	1,14 a

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste t em nível α de erro ($\alpha < 5\%$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, por estarem abaixo dos limites críticos de 1,4 a 1,5 Mg m⁻³ sugeridos para solos argilosos por Reichert et al. (2003), bem como dos limites de 1,30 Mg m⁻³ e 1,33 Mg m⁻³ para Latossolo Vermelho argiloso sugeridos por Argenton et al. (2005) e Klein (2006), respectivamente, os valores de Ds obtidos neste estudo provavelmente não interferirão no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Carpenedo (1994), máquinas e implementos agrícolas produzem cargas na superfície do solo que variam de 100 a 200 kPa e apesar de ainda não poderem ser considerados como críticos, os valores mais pronunciados de Ds observados na área conduzida sob SPD provavelmente estão relacionados ao intenso tráfego de máquinas e implementos que ocorre na mesma para as operações de manejo das culturas anualmente (HAMZA; ANDERSON, 2005), ao não revolvimento do solo na área desde a sua implantação, bem como ao pisoteio animal, pois a área é utilizada durante o inverno para pastejo.

A baixa qualidade do SPD adotado na área também pode estar influenciando este resultado e a adoção da rotação de culturas com plantas de cobertura que tenham sistema radicular mais agressivo e que auxiliem na descompactação do solo (por exemplo, crotalária e o nabo forrageiro), bem como produzam mais massa seca pela parte aérea provavelmente minimizará o aumento dos valores de Ds nesta área (REINERT et al., 2008).

Outro fator que provavelmente está potencializando os maiores valores de Ds no SPD é o teor de argila do solo. Solos argilosos retêm mais umidade que solos arenosos e a umidade atua como um lubrificante entre as partículas individuais da fração argila dos solos, facilitando seu adensamento. A correlação positiva e significativa entre teor de argila e Ds apresentado na Figura 12 abaixo corrobora esta hipótese.

Já os menores valores de Ds observados tanto no SCC quanto no POM provavelmente estão relacionados ao revolvimento periódico sofrido por estas áreas antes da semeadura das culturas e a priori da implantação do pomar, respectivamente. Além disso, o SCC também apresentou elevados teores de CO no solo (Tabela 1) em comparação com os demais sistemas devido à aplicação e incorporação de cama de aviário em 2012.

No entanto, não se observou correlação significativa da Ds com o CO do solo. Mas, ao se retirar da análise as amostras referentes ao SPD, observou-se correlação significativa (Figura 13) entre a Ds e o CO, sugerindo que exceto para o SPD, o teor de CO do solo provavelmente também está influenciado a variação da Ds. A MOS tem uma menor densidade real, o que contribui para a redução dos valores de Ds com o seu aumento nos solos, principalmente nas camadas superficiais (BRADY E WEIL, 2008).

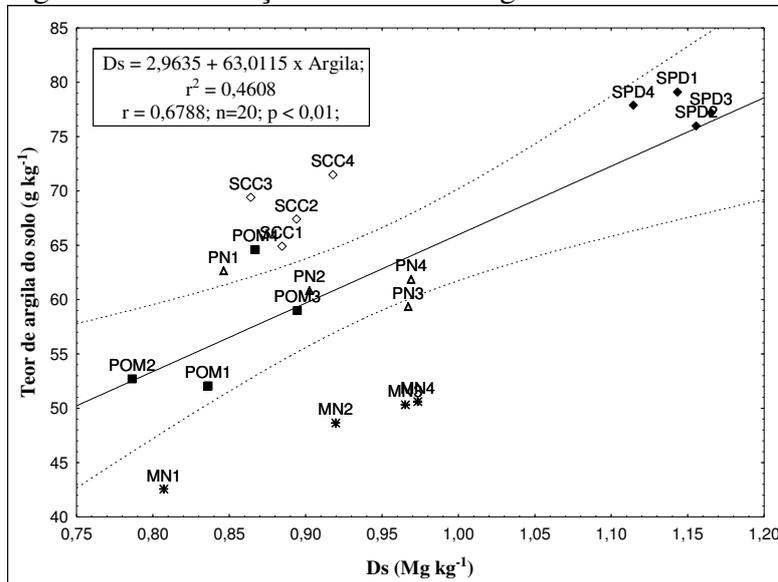
Para o POM, observa-se que desde a sua implantação, os valores de Ds mantiveram-se semelhantes aos do SCC (revolvido anualmente), o que provavelmente está relacionado à ausência de tráfego de máquinas, implementos agrícolas e pisoteio de animais de grande porte neste local, evidenciando claramente o efeito desses no aumento da Ds no SPD.

Para a PN, devido ao pisoteio animal, esperava-se que os valores de Ds fossem similares aos do SPD, contudo, a não significância entre MN, PN, POM e SCC sugere que ou a lotação animal não é suficiente para permitir o aumento significativo da Ds em relação à área de referência (MN) e demais manejos, ou a quantidade matéria orgânica no solo da área e a quantidade de matéria seca produzida pela pastagem estão influenciando este resultado.

Braida et al. (2008) explicam que a MOS aumenta a elasticidade do solo, pois é mais elástica e aumenta a probabilidade de aprisionamento de bolhas de ar no interior das camadas com maior teor da mesma, o que faz com que o solo se recupere ou suporte mais as tensões de compactação aplicadas aos mesmo. Ainda, Braida et al. (2006) e Silva et al. (2004) explicam

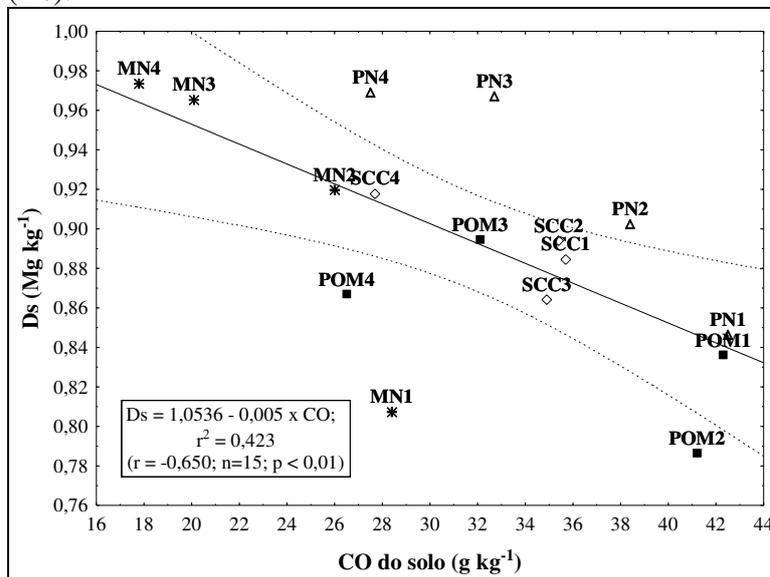
que a maior quantidade de resíduos em superfície dissipa a energia de compactação do solo, diminuindo os efeitos da compactação nos solos.

Figura 12 – Correlação dos valores Argila no solo e densidade do solo (Ds).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Correlação dos valores de carbono orgânico (CO) do solo e densidade do solo (Ds).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a MN, mesmo a Ds sendo diferente significativamente somente do SPD, é possível que os maiores valores de Ds observados em relação a POM e SCC estejam sendo influenciados pelo seu menor teor de CO do solo em relação aos demais sistemas aqui estudados.

Em profundidade, apesar de não ter sido observado diferença significativa nos valores de Ds, de uma forma geral, observou-se um aumento da Ds nos sistemas MN, PN, POM e SCC, sendo mais pronunciado na MN e PN, enquanto que no SPD, a maior Ds ocorre na profundidade de 10 – 20 cm.

Segundo Reinert et al. (2008), o aumento da Ds em profundidade em áreas não antropizadas como a MN ocorre devido à pedogênese ou ao peso exercido pelas camadas superiores do solo nas inferiores, entretanto, quando em uso, o tráfego de máquinas, o pisoteio animal e os sistemas de manejo inadequados é que ocasionam o seu aumento.

Ainda, os menores valores de Ds em superfície (0-10 cm principalmente) também podem estar relacionados a maior densidade de raízes (geralmente observada nesta profundidade), maior teor de CO do solo nesta camada, ao revolvimento superficial ocasionado por arados, grades e sulcadora das semeadoras quando a área é manejada sob SPD (SILVA et al., 2004). Os ciclos de umedecimento e secagem do solo, os quais ocasionam expansão e contração da massa de solo e, conseqüentemente, o rompimento da camada superficial do solo em pequenos agregados também é um fator que pode ser considerado (PORTUGAL et al., 2010).

5.4 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO (RP)

A tabela 4 apresenta os valores de RP determinados nos diferentes sistemas de manejo e profundidades estudadas e observou-se que independente do sistema de manejo e profundidade analisados que os valores de RP medidos ficaram abaixo de 2 MPa.

Tabela 4 – Resistência à penetração (RP) nas diferentes profundidades e sistemas estudados.

Prof. (cm)/Uso	SCC	PN	MN	POM	SPD
0 a 5 (1)	1,12 cA*	0,90 bB	0,39 bC	0,52 cC	0,98 cAB
5 – 10 (2)	1,37 bC	1,65 aB	0,90 aD	0,92 bD	1,88 aA
10 – 20 (3)	1,11 cC	1,58 aB	1,02 aC	1,02 bC	1,90 aA
20 – 30 (4)	1,69 aA	1,75 aA	1,01 aB	1,50 aA	1,63 bA
Média Geral	1,28	1,45	0,82	0,94	1,62

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste T em nível α de erro ($\alpha < 5\%$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, foi observado interação entre os sistemas e a profundidade, o que sugere que a RP, neste estudo, foi mais sensível que a Ds na diferenciação entre os manejos e as

profundidades. Outros estudos como de Maria et al. (1999), Genro Jr. et al. (2004) e Streck et al. (2004) também apresentaram o mesmo resultado.

Para Tormena et al. (1998); Silva (2003); Silva et al. (2004), valores de RP iguais ou acima de 2 MPa são considerados limitantes ao crescimento da maioria das espécies de plantas. Contudo, para espécies florestais e pastagens, valores de 3 MPa e 2,5 MPa têm sido adotados, respectivamente (ZOU et al.; IMHOFF et al., 2000). Reichert, Suzuki & Reinert (2007), entretanto, alertam para as incertezas quanto a estes valores, pois cada planta responde de forma diferente as condições de solo, bem como teriam seus próprios valores críticos de RP.

Estatisticamente, na profundidade de 0 – 5 cm, a significância deu-se na seguinte ordem: SCC1 = SPD1 > PN1 > POM1 = MN1. Na profundidade de 5 – 10 cm, na ordem: SPD2 > PN2 > SCC2 > POM2 = MN2; na profundidade de 10 – 20 cm, na ordem: SPD3 > PN3 > SCC3 > POM3 > MN3; e na profundidade de 20 – 30 cm, na ordem: PN4 = SCC4 = SPD4 = POM4 > MN4.

Assim, entre os sistemas estudados, observa-se que exceto na profundidade de 0 – 5 cm e 20 – 30 cm, o SPD e a PN apresentaram os maiores valores de RP, enquanto que a MN, seguido do POM, foi o sistema de manejo que apresentou os menores valores de RP independente da profundidade.

O SCC1 não diferiu estatisticamente do SPD1, contudo, seu maior valor chama atenção ao fato do rápido aumento dos valores de RP alcançados depois do revolvimento. Máquinas agrícolas com insuflagem dos pneus acima do recomendado aumentam a tensão de contato do pneu com o solo por diminuírem a zona de contato entre o pneu e o solo e tendem a compactar mais o solo na camada superficial, aumentando seus níveis de Ds e, conseqüentemente, RP (NOVAK et al., 1992). No caso do SCC1, isto pode estar ocasionando a maior RP na camada de 0 – 5 cm.

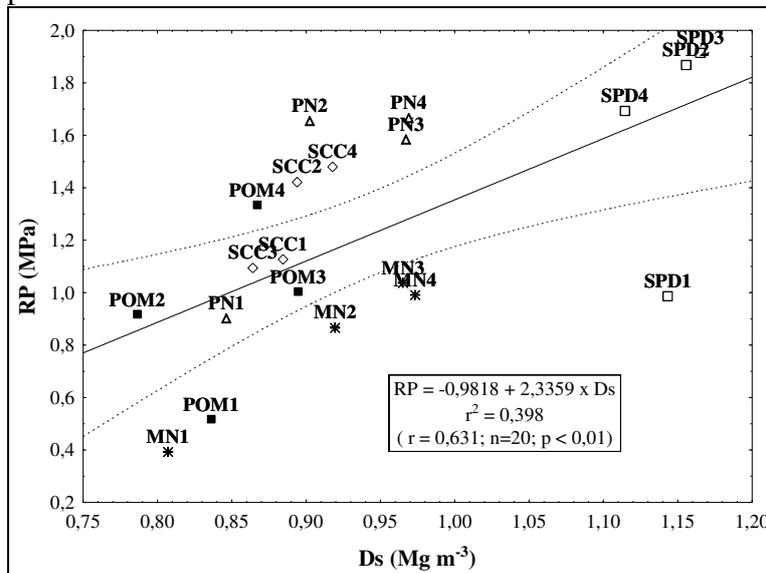
A MN diferiu estatisticamente do POM somente para a profundidade de 20 – 30 cm, sugerindo que a não circulação de máquinas, implementos e o trânsito de animais estão contribuindo para os menores valores de RP no POM na camada de 0 – 20 cm. Além disso, observa-se também que a profundidade que apresentou as menores diferenças significativas entre os sistemas de manejo para a RP foi a de 20 a 30 cm, o que sugere que esta é a que menos está sofrendo os efeitos dos diferentes manejos adotados na área de estudo (pisoteio animal e tráfego de máquinas).

Desde que foi observado correlação positiva entre a Ds e RP neste estudo, a maior RP para o SPD2 e SPD3 está de acordo com os maiores valores de Ds observados para estas

profundidades (Figura 14). Camadas de solo mais densas possuem mais massa por unidade de volume e apresentam menos espaços vazios entre as suas partículas, o que aumenta sua resistência mecânica e, conseqüentemente, os valores de RP (BORGES et al., 1999 apud RIBON et al., 2003).

Contudo, esta premissa não é totalmente verdadeira para os valores de RP observados para a MN, pois os menores valores de Ds foram observados para POM2, MN1, POM1 e PN1. Desde que a MN apresentou o menor teor de CO do solo entre os sistemas da área de estudo (Tabela 1), o que teoricamente aumentaria seus valores de RP, os menores valores de RP observados na MN provavelmente estão sendo mais influenciados pelo seu menor teor de argila em relação aos demais sistemas do que o teor de CO. A correlação direta e significativa entre a RP e teor de argila (Figura 15) observada neste estudo mostrando os menores valores de argila e RP para a MN corroboram esta hipótese.

Figura 14 - Correlação entre densidade do solo (Ds) e resistência mecânica a penetração (RP) nas amostras estudadas. A linha tracejada mostra o intervalo de confiança a 5% de probabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

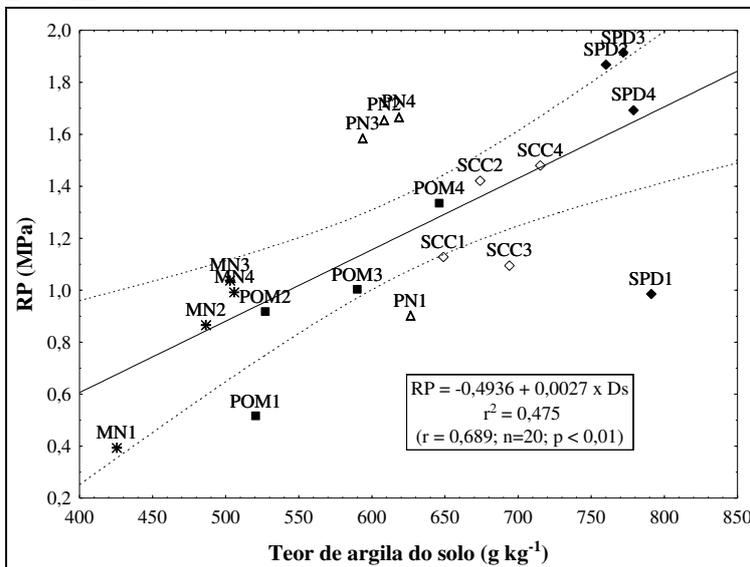
Segundo Silva (2003), solos argilosos apresentam uma maior coesão entre suas partículas devido a um maior número de pontos de contato e maior quantidade de cargas elétricas na superfície das mesmas, o que faz com que a resistência mecânica do solo se eleve.

Contudo, o POM também sofreu revolvimento antes de sua implantação e não recebeu mais o tráfego de máquinas, implementos agrícolas e animais e isto também deve estar contribuindo para a manutenção dos menores valores de RP observados neste sistema (similares aos da MN) em relação ao SCC e SPD.

Em profundidade, todos os sistemas analisados apresentaram aumento da RP, contudo, para a MN e PN não existiu diferença significativa na camada de 5 - 30 cm, enquanto que para POM e SPD não ocorreu variação significativa de 5 – 20 cm. O aumento dos valores de Ds em profundidade explica este comportamento.

Entretanto, para o SCC, o aumento da RP foi irregular em profundidade (maior em SCC2 e SCC4), o que provavelmente está relacionado ao efeito do revolvimento do solo (SILVA et al., 2004) e do aparecimento do pé de arado próximo a 20 cm de profundidade. Para o SPD, a zona com maior RP está de acordo com o que geralmente é observado para este sistema, isto é, maior RP de 7 – 20 cm (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Figura 15 - Correlação entre teor de argila do solo e resistência mecânica a penetração (RP) nas amostras estudadas.

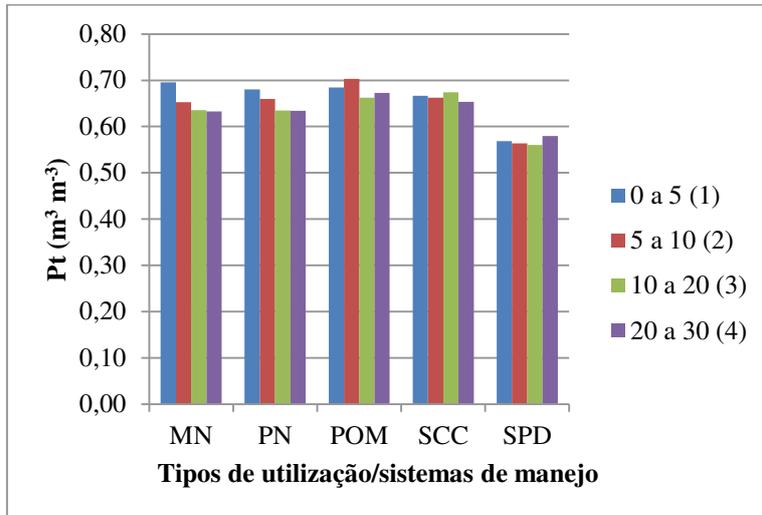


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 POROSIDADE TOTAL (Pt), MICROPOROSIDADE (Mic) E MACROPOROSIDADE (Mac)

A Figura 16 apresenta o gráfico comparativo dos resultados obtidos para Pt, determinadas nas amostras coletadas nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo. No geral, a Pt das amostras variou de $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SPD2 e SPD3) a $0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (MN1 e POM2) e os valores aqui obtidos se assemelham àqueles encontrados por Secco et al. (2004), Spera et al. (2009) e Bonini et al. (2011) em estudos com Latossolos conduzidos sob diferentes sistemas de manejos. Além disso, a Pt foi inversamente relacionada com a Ds.

Figura 16 – Porosidade total do solo (Pt) nas diferentes profundidade e tipos de uso/manejo estudados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso/sistema de manejo que apresentou a maior média de Pt foi o sistema POM ($0,680 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e a menor média foi o SPD ($0,567 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). É possível também, visualizar maiores valores de Pt na profundidade de 0-10 cm dos sistemas de MN, PN e POM, na profundidade de 0-30 cm para SCC e pouca variação nos valores de Pt para o SPD.

Na análise estatística não houve interação entre sistemas e profundidade, mas sim variação significativa entre os sistemas de manejo estudados (Apêndice 3). Assim, os sistemas MN, PN, POM e SCC não diferiram entre si pelo teste T, mas todos eles diferiram do SPD (Tabela 5), o qual apresentou a menor Pt.

Tabela 5 - Porosidade Total do solo (Pt) determinada nos diferentes sistemas de manejo estudados.

Uso/sistema	Pt ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
MN	0,655 a
PN	0,652 a
POM	0,680 a
SCC	0,664 a
SPD	0,567 b

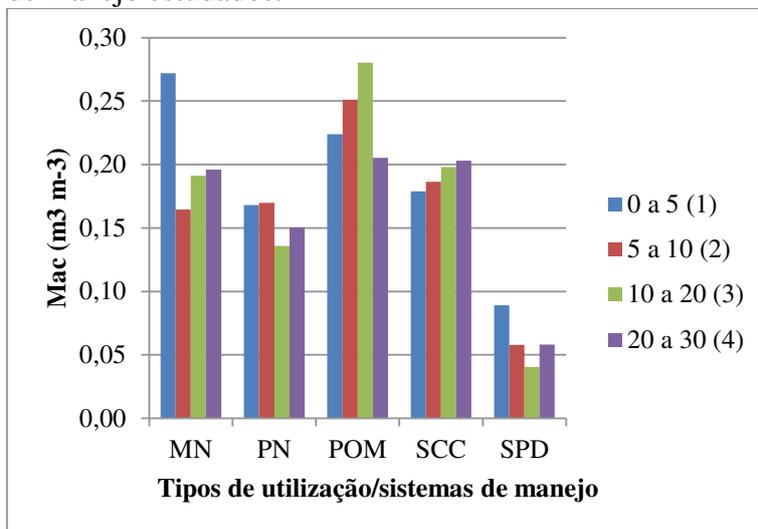
* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste t em nível α de erro ($\alpha < 5\%$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Solos sob SPD geralmente apresentam valores maiores de Ds e Mic e menores valores de Pt e Mac em comparação com o preparo convencional. Isto é decorrente do não revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas utilizados no preparo do solo (VIEIRA; MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985; SANTOS, 2008).

A Figura 17 apresenta os valores de Mac determinadas nas amostras coletadas nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo. De um modo geral, a Mac variou de $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SPD3) a $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (POM3) e entre os sistemas de manejo, o que apresentou a maior Mac foi o POM ($0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e o que apresentou a menor Mac foi o SPD ($0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), decrescendo na seguinte ordem: POM ($0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) > MN ($0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) > SCC ($0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) > PN ($0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) > SPD ($0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Contudo, os valores de Mac obtidos neste estudo são similares àqueles obtidos por Santos (2008) e Beutler et al. (2003) para solos argilosos.

Figura 177 – Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) determinada nas diferentes profundidades e sistemas de manejo estudados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise estatística não foi observada interação entre sistemas de manejo e profundidade, mas variação estatística significativa apenas entre os sistemas de manejo estudados (Apêndice 4). Assim, na média (Tabela 6), os sistemas POM, MN e SCC, apresentaram os maiores valores de Mac e não diferiram entre si estatisticamente enquanto que o SPD apresentou a menor Mac e diferiu estatisticamente dos demais sistemas de manejo estudados. O PN somente diferiu estatisticamente do POM e SPD.

A maior Mac para o POM pode ser atribuída ao revolvimento inicial do solo (antes do plantio), o que resultou no fraturamento dos agregados e o desenvolvimento de poros grandes. Este efeito é mais notável na superfície do solo, pois é onde mais atuam os implementos agrícolas tais como arados e grades (TORMENA et al., 2002). Além disso, este resultado também pode ser atribuído à inexistência de tráfego de máquinas e grandes animais nesta área durante o decorrer dos anos.

Tabela 6 - Macroporosidade do solo (Mac) determinada manejo estudados.

Uso/sistema	Mac ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
MN	0,208 ab
PN	0,156 b
POM	0,240 a
SCC	0,191 ab
SPD	0,062 c

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste t em nível α de erro ($\alpha < 5\%$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Já os baixos valores de Mac observados para o SPD provavelmente estão relacionados à forma como este sistema é conduzido na área de estudo. No caso, a tensão exercida no solo por máquinas e implementos agrícolas, principalmente quando trafegam na área em condições inadequadas de umidade, faz com que ocorra o aumento da Ds e RP e diminuição da Pt e Mac. Além disso, de três a quatro anos depois de sua implantação em áreas que antes eram conduzidas sob SCC, também ocorre o arranjo natural do solo mobilizado, contribuindo também para redução da Mac e Pt (RICHART et al., 2005).

Ainda, neste estudo, observa-se que a Mac no SPD também estaria abaixo do limite crítico citado por Reichert, Suzuki & Reinert (2007) ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), prejudicando a produtividade das culturas nele implantadas e fazendo com que somente plantas com sistema radicular superficial obtenham melhores rendimentos. O controle de tráfego e a adoção de práticas conservacionistas tais como a rotação de culturas com a utilização de plantas de cobertura que sirvam de adubação verde e que atuem na descompactação do solo através de seu sistema radicular, bem como incorporem matéria orgânica ao solo, seriam alternativas a sucessão de culturas atualmente utilizada nesta área.

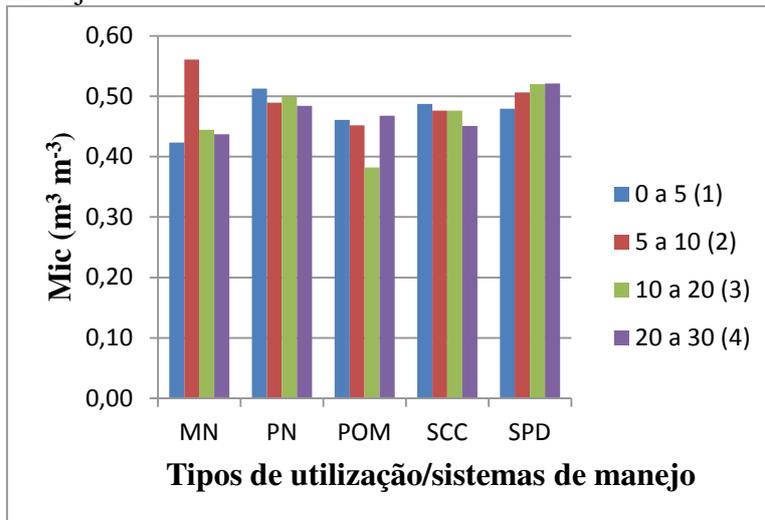
Na MN e SCC os maiores valores de Mac em relação ao SPD e a PN podem ser atribuídos principalmente à inexistência de tráfego de máquinas e animais (MN) e ao revolvimento periódico (SCC) ou pelo conjunto de raízes presente no solo (PN).

Em profundidade o comportamento da Mac foi bastante variável, diminuindo para a MN, PN e SPD e aumentando para SCC. Para o POM, a maior Mac foi observada na profundidade de 10 a 20 cm e a menor na profundidade de 20 a 30 cm. Contudo, mesmo não sendo observada diferença significativa entre as mesmas, SPD2, SPD3 e SPD4 foram as que apresentaram a menor Mac de todas as amostras, provavelmente como resultado da maior Ds e RP nestas profundidades.

A Figura 18 apresenta o gráfico comparativo dos resultados obtidos para Mic determinadas nas amostras coletadas nos diferentes profundidades e sistemas de manejo da

área de estudo. No geral, os valores variaram de 0,38 (POM3) $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0,56 (MN2) $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e os sistemas de manejo que apresentaram a maior Mic foram o SPD (0,51 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e a PN (0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e o que apresentou a menor Mic foi o POM (0,44 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Entre os sistemas, a Mic decresceu na seguinte ordem: SPD (0,51 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) > PN (0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) > MN (0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) = SCC (0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) > POM (0,44 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Figura 188 – Microporosidade do solo (Mic) nas diferentes profundidade e sistemas de manejo estudados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

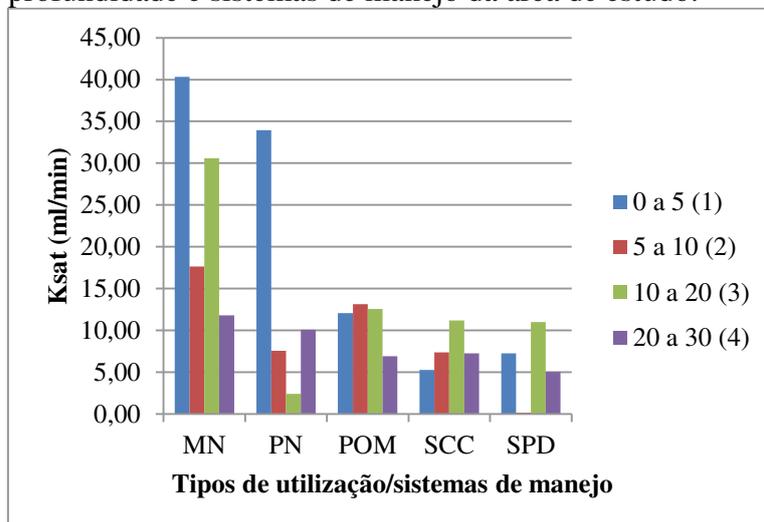
Ainda, os valores de Mic aqui obtidos também foram similares aqueles encontrados por Pickler et al. (2012) num Latossolo com cultivo de milho e soja em sucessão a diversos tipos de adubação verde de inverno, bem como aos obtidos por Secco et al. (2004) e Martins et al. (2002) em estudo com diferentes sistemas de manejos.

Contudo, apesar de o SPD e a PN apresentarem a maior Mic, provavelmente como resultado da maior Ds e RP, menor Pt e Mac, a análise estatística não apresentou nem interação entre os fatores, nem diferença significativa para os sistemas de manejo e profundidade estudados. Considerando que os solos apresentam textura argilosa a muito argilosa, este resultado sugere que a Mic do solo está sendo mais fortemente influenciada pela textura do que pelos sistemas de manejo e profundidade (SILVA; KAY, 1997 apud MATIAS, et al., 2009).

5.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (Ksat)

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos para Ksat determinadas nas amostras coletadas nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo. A Ksat variou nas amostras de 0,16 (SPD2) mL min⁻¹ a 40,35 (MN1) mL min⁻¹. Além disso, o sistema de manejo que apresentou a maior Ksat foi a MN (25,09 mL min⁻¹) e o que apresentou a menor Ksat foi o SPD (5,86 mL min⁻¹), decrescendo na seguinte ordem: MN (25,09 mL min⁻¹) > PN (13,5 mL min⁻¹) > POM (11,17 mL min⁻¹) > SCC (7,76 mL min⁻¹) > SPD (5,86 mL min⁻¹).

Figura 19 – Condutividade hidráulica saturada (Ksat) determinada nas diferentes profundidade e sistemas de manejo da área de estudo.



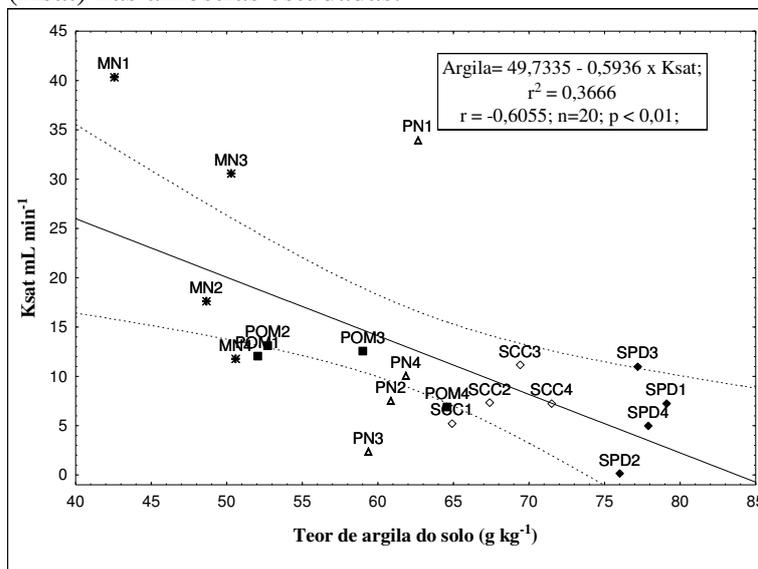
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de Ksat obtidos neste estudo são superiores aqueles obtidos por Klein (1998) apud Klein (2012), o qual infere que os sistemas de manejo influenciaram a variação de Ksat do solo. Contudo, neste estudo, não se observou interação significativa e diferença estatística significativa entre sistemas de manejo e profundidades do solo, mesmo observando-se a tendência de a MN e PN1 apresentarem os maiores valores de Ksat e o SPD a menor Ksat. Este resultado provavelmente se deve ao elevado coeficiente de variação (141 %) observado na análise da variância desta variável (Apêndice 7).

Eguchi et al. (2003) apud Ferreira (2008) também encontraram alta variabilidade da Ksat medidos nos diferentes sistemas de manejos solos estudados, o que foi atribuído à heterogeneidade textural e estrutural do solo, a variação na presença de raízes de plantas em seu interior e a rachaduras ocasionadas na estrutura do solo nas épocas de estiagem.

Na figura 20 é mostrada a correlação entre Ksat e os teores de argila, o que demonstra que, mesmo sendo baixa a correlação ($r=-0,605$), a variação observada nos valores de Ksat neste estudo também pode estar sendo influenciada pela variação nos teores de argila observados nos solos da área de estudo. No geral, solos com teores de argila superiores a 35% apresentam baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água (ALBUQUERQUE, 2013) e a MN, sistema o qual apresentou os menores teores de argila, também apresentou os maiores valores de Ksat, enquanto que para o SPD, ocorreu o contrário.

Figura 200 - Correlação entre teor de argila do solo e Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat) nas amostras estudadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma alta variabilidade na Ksat também foi encontrada por Lima et al. (2007) em um estudo envolvendo solos manejados sob sistemas de manejo orgânico, a qual não apresentou elementos para a ocorrência desta variação. Porém, Silva (2003) alerta que a Ksat também pode ser influenciada pela continuidade dos poros e não somente pelo volume de macroporos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, em relação aos resultados obtidos neste estudo e suas relações de causas-efeitos, tem-se que:

- a) POM e PN, por se utilizarem de gramíneas como planta de cobertura, propiciaram um grande aporte de resíduos orgânicos ao solo e maiores teores de CO do solo em relação a MN, enquanto que a baixa qualidade do SPD adotado, não ocasionou variação significativa dos teores de CO do solo em relação a MN, sendo inclusive, inferior aos demais sistemas de manejo aqui estudados. Em profundidade, a diminuição do teor de CO do solo foi ocasionada pela maior deposição dos resíduos orgânicos em superfície, seja pela parte área, seja pelo sistema radicular das plantas.
- b) a variação dos teores de argila observado nas amostras provavelmente é o resultado tanto da variabilidade espacial quanto do grau de evolução pedogenética dos solos da área de estudo;
- c) Os valores de Ds nos diferentes sistemas de manejo estudados estão abaixo dos valores considerados críticos para o desenvolvimento das plantas, contudo, a falta de revolvimento e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, bem como os maiores teores de argila contribuíram significativamente para o aumento da Ds na PN e principalmente no SPD. Os menores teores de CO na área sob MN também estão contribuído com seus menores valores de Ds. Em profundidade, os sistemas de manejo e a pedogênese é que ocasionaram o aumento dos valores de Ds.
- d) Apesar de os valores de RP terem ficado abaixo dos valores críticos que restringem o desenvolvimento de plantas (2 MPa), a RP foi mais sensível que a Ds em discriminar as variações entre os sistemas de manejo e profundidades nos solos da área de estudo. Desta forma, MN e POM, pela ausência de revolvimento, tráfego de máquinas e pisoteio animal apresentaram os menores valores de RP independente da profundidade, enquanto que o contrário ocorreu para o SPD e PN. Em profundidade, devido ao aumento da Ds, todos os sistemas de manejo estudados apresentaram aumento da RP, destacando-se o SPD onde o maior aumento ocorreu na profundidade de 10 a 20 cm;
- e) A ausência de tráfego de máquinas e implementos, bem como de pisoteio animal condicionou a maior Mac para os sistemas MN e POM, enquanto que para o SCC o revolvimento periódico pode estar condicionando a maior Mac do solo em relação deste em relação ao SPD, o qual nos níveis atuais restringe o desenvolvimento das culturas.

f) o elevado teor de argila observado dos solos da área de estudo pode ter condicionado sua Mic em relação aos sistemas de manejo e profundidades estudados.

g) o alto coeficiente de variação observado para Ksat permitiu somente a observação de que o sistema SPD tendeu a apresentar a menor Ksat em relação aos demais usos e a MN a maior.

7 CONCLUSÕES

Neste estudo, não foi possível observar se a condução agroecológica dos sistemas de manejo estudados foi responsável por ocasionar variações nos atributos físicos do solo da área de estudo, pois tanto o aporte de resíduos orgânicos quanto o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, bem como o pisoteio animal ou ainda a ausência destes é que ocasionaram alterações nas variáveis medidas.

Assim, os diferentes sistemas de manejo bem como a qualidade com que foram conduzidos até o momento, independente de terem sido conduzidos sob as bases agroecológicas, afetaram diretamente os teores de carbono orgânico (CO) bem como os atributos físicos determinados nos solos da área estudada, principalmente a densidade do solo (Ds), a resistência a penetração radicular (RP), a porosidade total (Pt) e a macroporosidade do solo (Mac).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.29 n.6 Viçosa nov./dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000600014>, acesso em 28/03/2015.

ALBUQUERQUE, Heverton Rodrigo Cauás et al. Caracterização textural de solo cultivado com sistemas de pastagens na zona da mata de Pernambuco. **XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2013 – UFRPE**: Recife-PE, 2013. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R0994-1.pdf>>, acesso em 02/01/2015.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª Ed. Rer. Ampl. São Paulo: Expressão Popular; Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012.

ANDREOLA, Faustino; COSTA, Liovando Marciano da; OLSZEWSKI, Nelci. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 24, núm. 4, 2000. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/1802/180218338017.pdf>>, acesso em 15/04/2015.

ARGENTON, Jeferson et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**: 425-435, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/79424/000614367.pdf?sequence=1>>, acesso em 05/03/2015.

BEUTLER, Josué Fernando et al. Perdas de solo e água num latossolo vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 509-517, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16668.pdf>>, acesso em 02/04/2015.

BONINI, Andréia Kusumota et al. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, v.41, n.9, set, 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/02e7e53aacf1b5a2b0000000.pdf>>, acesso em 30/03/2015.

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

BRAIDA, João Alfredo et al. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 32, n. 2, p. 477-485,

mar./abr. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/02.pdf>>, acesso em 02/03/2015.

BRAIDA, João Alfredo et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.605-614, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n4/01.pdf>>, acesso em 03/03/2015.

CAMARGO, Otávio Antonio de; ALLEONI, Luis Reynaldo Ferracciú. Reconhecimento e medida da compactação do solo. 2006. **Artigo em Hypertexto**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 16/11/2013.

CARNEIRO, Leandro Flávio et al. Densidade e volume total de poros do solo cultivado com adubos verdes perenes consorciados com a bananeira em um sistema sob transição agroecológica em Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Vol 7, No. 2, Dez 2012**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68859/1/041-carneiro-densidade.pdf>>, acesso em 07/02/2015.

CARPENEDO, Valcir. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 120 f. Tese de Doutorado. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 1994. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/ValcirCarpenedo1994.pdf>>, acesso em 08/03/2015.

COOPTRASC. **Plano de Desenvolvimento do Assentamento - PDA – Dom José Gomes**. COOPTRASC. Chapecó – SC, 2009.

DEMATTE, José Alexandre Mello et al. Fotopedologia e pedologia espectral orbital associadas no estudo de solos desenvolvidos de basalto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.122-131, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n1/v70n1a18.pdf>, acesso em 18/03/2015.

DRESCHER, Marta Sandra. **Efeito residual de intervenções mecânicas para descompactação do solo manejado sob sistema plantio direto**. 2011. 82 f. Dissertação de Mestrado. UFSM. Santa Maria, RS, Brasil 2011. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/Disserta%E7%E3o%20Marta%20%20Drescher.pdf>>, acesso em 04/04/2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Documentos 191 - ISSN 1678-9644, Santo Antônio de Goiás, GO 2006. Disponível em:

<http://www.agrolink.com.br/downloads/atributos_fisicos_hidricos_do_solo_sob_plantio_dir_eto.pdf>, acesso em 21/03/2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>, acesso em 04/01/2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/BPD-46-2004-Santa-Catarina-.pdf>>, acesso em 01/02/2015.

FAO. **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**. Notícias. Brasil, 2011. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>>, acesso em 07/02/2015.

FERREIRA, Fernando Perobelli et al. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**. Vol.37 no.2 Santa Maria Mar./Apr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000200013>, acesso em 24/03/2015.

FERREIRA, Rogério Resende Martins; FILHO, João Tavares; FERREIRA, Vinicius Martins. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/7597/6687>>, acesso em 10/01/2014.

FERREIRA, Silvana Travinski. **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a dois diferentes manejos**. 2004. 101 f. (Dissertação de Mestrado). UEPG. Ponta Grossa – PR, 2008. Disponível em: <http://fisica.uepg.br/ppg fisica/Public/Projetos/1316542155_.pdf>, acesso em 14/02/2015.

FREITAS, Pedro Luiz de et al. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**; 35: 157-170, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n1/6910.pdf>>, acesso em 24/03/2015.

GENRO JÚNIOR, Silvio Aymone; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:477-484, 2004. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000300009>, acesso em 07/03/2015.

GIONGO, Vanderlise; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema de produção de melão**. Manejo do solo. Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 5 ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica. Ago/2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/manejo_do_solo.html>, acesso em 30/03/2015.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions**. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005.

IMHOFF, S; SILVA, AP, TORMENA, CA. **Spatial heterogeneity of soil properties in áreas unjder elephant-grass short-duration grazing system**. *Plant and soil*, v219, p-161-168, 2000.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. Relações solo-planta. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 1979.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2ª Edição. Editora Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS, 2012, 240 p.

KLEIN, Vilson Antonio; LIBARDI, Paulo Leonel. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.32, n.6, p.945-953, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n6/12738.pdf>>, acesso em 04/04/2015.

LABATUT, Benjamin. **ONU e FAO declaram 2015 Ano Internacional dos Solos**. Dez, 2014. Disponível em: <<http://www.mundosustentavel.com.br/2014/12/onu-e-fao-declaram-2015-ano-internacional-dos-solos/>>, acesso em 07/02/2015.

LIMA, Herdjania Veras de et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no Semiárido Cearense. **R. Bras. Ci. Solo**, 31: 1085-1098, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a24v31n5.pdf>>, acesso em 12/02/2015.

LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de et al. Heterogeneidade de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.409-414, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000300001>, acesso em 15/04/2015.

LOSS, Arcângelo et al. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.1, p.68-75, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n1/10.pdf>>, acesso em 16/02/2015.

MAFRA, Álvaro Luiz et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Arvore** v.32 n.2 Viçosa mar./abr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000200004>, acesso em: 28/03/2015.

MARIA, Isabela Clerici de; Castro, Orlando Melo de; Dias, Hugo de Souza. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.703-709, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n3/25.pdf>>, acesso em: 07/03/2015.

MARQUES, Flávio Adriano. **Matéria Orgânica de Latossolos com horizonte A Húmico**. 2009. 144 f. (Tese de Doutorado). ESALQ. Piracicaba –SP. 2009. Disponível em: <[file:///C:/Users/User/Downloads/Flavio_Marques%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Flavio_Marques%20(2).pdf)>, acesso em 24/03/2015.

MARTINS, Sérgio Gualberto et al. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE**, V.8, N.1, P.032-041, 2002. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-20099733v8_n1_artigo%2003.pdf>, acesso em 02/04/2015.

MATA, José de Deus Viana da; GONÇALVES, Antonio Carlos Andrade; VIEIRA, Sidney Rosa. Variabilidade espacial da macroporosidade do solo em área irrigada, antes do preparo e após colheita, sob dois sistemas de preparo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.20, n.3, p.307-312, 1998. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/4361>>, acesso em 07/02/2015.

MATIAS, Sammy Sidney Rocha et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Rev. Ciênc. Agrônômica**. v. 40, n. 3, p. 331-338, jul-set, 2009. UFC, Fortaleza, CE. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/751/350>>, acesso em 02/04/2015.

MICHELON, Cleudson José. **Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/Qualidade%20f%C3%ADsica%20de%20so>>

los%20irrigados%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%20e%20do%20Brasil%20Central .pdf>, acesso em 02/02/2015,

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras, MG: UFLA, 2006. 729p.

NOVAK, Leandro Reis et al. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesq. Agropec. Bras.**, 27:1587-1595, 1992. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3808>>, acesso em 08/03/2015.

PANDOLFO, C. et al. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PICKLER, Elisandro Paulo et al. Influência da cobertura de inverno nos atributos físicos do solo em culturas de milho e soja sob plantio direto. **REVENG**. Viçosa - MG, V.20 N.1, Jan / fev. 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/185/201>>, acesso em 27/12/2014.

PORTUGAL, Arley Figueiredo et al. Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 57, n.4, p. 545-553, jul/ago, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v57n4/a18v57n4.pdf>>, acesso em 30/03/2015.

REICHARDT, Klaus. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações/** Klaus Reichardt, Luis Carlos Timm. – 2. Ed. – Barueri, SP: Manole, 2012.

REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José; BRAIDA, João Alfredo. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb.** 27: 29-48. 2003. Disponível em <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/5.pdf>, acesso em 03/01/2015.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches; REINERT, Dalvan José. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **CCR-UFSM**, Santa Maria – RS, 2007. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/2007_Topicos.pdf>, acesso em 07/01/2014.

REINERT, Dalvan José et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1805-1816, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n5/02.pdf>>, acesso em 23/03/2015.

RIBON, Adriana Aparecida et al. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**. Maringá, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/2147/1626>>, acesso em 08/03/2015.

RICHART, Alfredo et al. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2319/1997>>, acesso em 15/11/2013.

ROSCOE, Renato; BODDEY, Robert Michael; SALTON, Júlio Cesar. Dinâmica da MOS em sistemas conservacionistas. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. Capítulo de Livro. **Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados** – MS, 2006. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/agriculturaOrganica/Sistemas_Manejo_Materia_Organica.pdf>, acesso em 25/03/2015.

SAGRILO, Edvaldo et al. **Manejo agroecológico do solo: os benefícios da adubação verde** – Teresina/Pi: Embrapa Meio-Norte, 2009. 24 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80695/1/documento-193.pdf>>, acesso em 07/02/2015.

SANTOS, Rosilene. **Propriedades de retenção e condução de água em solos, sob condições de campo e em forma de agregados, submetidos aos plantios convencional e direto**. 2008. 102 f. UEPG. Ponta Grossa – PR, 2008. Disponível em: <http://fisica.uepg.br/ppg fisica/Public/Projetos/1316541869_.pdf>, acesso em: 20/12/2014.

SCHERER, Vinicius Saldanha et al. Grau de compactação em um pomar de pessegueiro em função da posição de amostragem e sua relação com características físicas do solo. **21º Congresso de Iniciação Científica**, UFPEL, Pelotas – RS, 2012. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CA_00158-Vin%C3%ADcius.pdf>, acesso em 27/01/2014.

SCHERER, Eloi Erhard; NESI, Cristiano Nunes; MASSOTTI, Zemiro. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1375-1383, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/34.pdf>>, acesso em 02/02/2015.

SCHERER, Eloi Erhard; BALDISSERA, Ivan Tadeu; NESI, Cristiano Nunes. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:123-131, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n1/13.pdf>>, acesso em 30/03/2015.

SECCO, Deonir et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.28 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000500001>, acesso em 30/03/2015.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality: complete samples**. *Biometrika*, v.52, p.591-611, 1965.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **R. Bras.Ci. Solo**, 24:191-199, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n1/21.pdf>, acesso em 03/02/2015.

SILVA, Reginaldo Barboza et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.973- 983, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19192.pdf>>, acesso em 02/02/2015.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 192 f. Tese de Doutorado. Santa Maria, RS, 2003. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Vanderlei_Silva_Tese.pdf>, acesso em 19/12/2014.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.399-406, mar-abr, 2004. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/a10v34n2.pdf>>, acesso em 06/03/2015.

SILVA, Mellissa Ananias Soler da et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.30 n.2 Viçosa mar./abr. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832006000200013&script=sci_arttext>, acesso em 25/03/2015.

SPERA, Silvio Tulio et al. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1079-1093, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v68n4/v68n4a29.pdf>>, acesso em 11/02/2015.

STEFANOSKI, Diane Cristina et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.12, p.1301–1309, 2013. Campina Grande, PB. Disponível: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n12/v17n12a08.pdf>>, acesso em 30/03/2015.

STRECK, Carlos Arnoldo et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ci. Rural**, 34:755-760, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000300016>, acesso em 07/03/2015.

TORMENA, Cássio Antonio et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)** vol.59 no.4 Piracicaba Oct./Dec. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162002000400026>, acesso em 03/04/2015.

TORMENA, Cássio Antonio; SILVA, Álvaro Pires da; LIBARDI, Paulo Leonel. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.573-581, 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n4/02.pdf>>, acesso em 05/03/2015.

Van LIER, Q.J. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **R. Bras. Ci. Solo**, 25: 233-238, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/25.pdf>>, acesso em 02/02/2015.

VIANA, Eduardo Torres et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:2105-2114, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n6/a25v35n6.pdf>>, acesso em 21/03/2015.

WATANABE, Sérgio Hitoshi et al. Resistência a penetração e porosidade de aeração de um latossolo vermelho distrófico sob plantio direto por dois anos. **Acta Scientiarum** 22(4): 1055-1060, 2000. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2847>> , acesso em 26/10/2013.

ZOU, C; SANDS, R; BUCHAN, G, HUDSON, I. **Least limit water range: a potential indicator of physical quality of forest soils**. Australian Journal of soil. Research, v38, p947-958, 2000.

APÊNDICES

Apêndice 1: Análise da variância para Carbono orgânico do Solo (CO).

Tabela 7 - Teste F do Carbono do solo (CO).

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	13,38	3,34	12,09	< .0001
Prof	3	11,16	3,72	13,44	< .0001
Sistema x prof	12	2,05	0,17	0,62	0,81
Rep	2	1,05	0,52	1,90	0,16
Erro	38	10,51	0,27		
Total	59	38,17			
CV (%)		16,83			
r ²		0,72			

Elaborado pelo autor.

Apêndice 2: Análise da variância para teor de argila do solo.

Tabela 8 - Teste F para Argila.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	609475,2	152368,8	66,48	< .0001
Prof	3	51858,7	17286,2	7,54	0,0004
Sistema x prof	12	18227,9	1518,9	0,66	0,77
Rep	2	10451,6	5225,8	2,28	0,11
Erro	38	87088,3	2291,7		
Total	59	777101,9			
CV (%)	7,92				
r ²	0,88				

Elaborado pelo autor.

Apêndice 3: Análise da variância para Ds.

Tabela 9 - Teste F para Ds.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F*
Sistema	4	0,64	0,160	25,05	< .0001
Prof.	3	0,04	0,015	2,39	0,08
Sistema x Prof.	12	0,06	0,005	0,86	0,58
Rep	2	0,00	0,001	0,28	0,75
Erro	38	0,24	0,006		
Total	59	1,00			
CV (%)	8,48				
r ²	0,75				

Elaborado pelo autor.

Apêndice 4: Análise da variância para RP.

Tabela 10 - Teste F para RP.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F*
Sistema	4	5,04	1,26	75,64	< .0001
Prof	3	4,55	1,51	90,90	< .0001
Sistema x prof	12	1,37	0,11	6,86	< .0001
Rep	2	0,01	0,005	0,31	0,73
Erro	38	0,63	0,01		
Total	59	11,61			
CV (%)	10,37				
r ²	0,94				

Elaborado pelo autor.

Apêndice 5: Tabela demonstrativa do teste F para Pt

Tabela 11 - Análise da variância para Pt.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	0,55	0,13	12,1	< .0001
Prof	3	0,09	0,03	2,72	0,057
Sistema x prof	12	0,07	0,0	0,51	0,891
Rep	2	0,0	0,0	0,05	0,953
Erro	38	0,43	0,01		
Total	59	1,15			
CV (%)	16,42				
r ²	0,62				

Elaborado pelo autor.

Apêndice 6: Análise da variância para Mac

Tabela 12 - Teste F para Mac.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	0,22	0,055	18,25	< .0001
Prof	3	0,004	0,001	0,51	0,67
Sistema x prof	12	0,28	0,002	0,78	0,66
Rep	2	0,001	0,000	0,30	0,74
Erro	38	0,11	0,003		
Total	59	0,37			
CV (%)	32,14				
r ²	0,68				

Elaborado pelo autor.

Apêndice 7: Análise da variância para Ksat.

Tabela 13 - Teste F para Ksat.

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	2730,6	682,6	2,13	0,09
Prof	3	1250,5	416,8	1,30	0,28
Sistema x prof	12	2317,4	193,1	0,60	0,82
Rep	2	421,7	210,8	0,66	0,52
Erro	38	12203,2	321,13		
Total	59	18923,7			
CV (%)		141,36			
r ²		0,35			

Elaborado pelo autor.