

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLO
DE VÁRZEA E DE COXILHA SOB DISTINTOS USOS E MANEJOS EM
PROPRIEDADE RURAL DA CAMPANHA DO RS**

ACADÊMICA

LUANNA CORRÊA RANGEL

SÃO GABRIEL, 2014

LUANNA CORRÊA RANGEL

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLO
DE VÁRZEA E DE COXILHA SOB DISTINTOS USOS E MANEJOS EM
PROPRIEDADE RURAL DA CAMPANHA DO RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Gestão Ambiental, da Universidade Federal
do Pampa (UNIPAMPA, SG), como requisito
parcial para obtenção do grau de Gestor(a)
Ambiental

Orientador: Prof.^a. Dr^a. Mirla Andrade Weber

São Gabriel, RS, Março de 2014

LUANNA CORRÊA RANGEL

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLO
DE VÁRZEA E DE COXILHA SOB DISTINTOS USOS E MANEJOS EM
PROPRIEDADE RURAL DA CAMPANHA DO RS**

Trabalho de Conclusão de curso
Apresentado a Universidade Federal do
Pampa como requisito parcial na
obtenção do título de graduação em
Gestão Ambiental

Área de concentração: Solo e meio
ambiente

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em

Banca Examinadora:



Prof.^a. Dr.^a. Mirla Andrade Weber

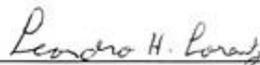
Orientadora

Unipampa



Prof. Ms. André Carlos Cruz Copetti

Unipampa



Prof. Dr. Leandro Homrich Lorentz

Unipampa

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus porque até aqui tem me sustentado.

A minha mãe Luzinete Corrêa Rangel por sido minha mãe e por tudo que fez por mim, mesmo não estando mais presente em vida suas lembranças ainda me ensinam. Obrigada mãe.

As minha irmã Joyce Corrêa Rangel por ser minha mãe, irmã e amiga e pelo apoio que me deu e compreensão durante a graduação e a minha caçulinha Yasmim dos Santos Rangel pela alegria

Ao meu namorado Wesley Monteiro Ribeiro, pelo apoio, carinho e incentivo dado durante a minha graduação.

Aos meus colegas e amigos que estiveram do meu lado durante estes anos, acompanhando-me em todos os momentos, em especial ao Alex Tomaz de Assis, por estar sempre ao meu lado, mesmo à distância.

A prof.^a. Mirla Andrade Weber, pela gentileza e dedicação de me orientar e, principalmente, pela amizade.

Agradeço ao proprietário do local de estudo, pela gentileza de ceder seu espaço para realizar meu trabalho.

Aos professores que me deram a oportunidade de agregar conhecimento, em especial a Prof.^a. Luciana Benetti, Prof.^a. Mirla Weber, Prof.^a. Suzy Cannes e ao Prof. Frederico Vieira, com quem pude participar de projetos.

À Neiva Mario e ao Jairo pelo apoio e compreensão dado durante os anos de graduação.

Enfim, agradeço a Universidade Federal do Pampa pelo aprendizado e pela oportunidade de conviver com os ótimos professores, que tive o prazer de conhecer.

Obrigada.

“Não fique orgulhoso das coisas que vai conseguir no futuro porque você não sabe o que vai acontecer amanhã. Não faça elogios a si mesmo; deixe isso por conta de outras pessoas.”

Provérbios 27. 1 e 2

RESUMO

A qualidade do solo está relacionada com sua capacidade de exercer suas funções nos diferentes ecossistemas, como sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais e manter a qualidade ambiental. A mudança na forma e intensidade de uso do solo afeta a sua qualidade e leva a alterações positivas e negativas sobre suas características físicas. Há poucos estudos sobre qualidade física de solos de várzea e coxilha na metade sul do RS. O objetivo do presente estudo foi caracterizar e avaliar, a densidade do solo e de partícula, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade em solo de área de coxilha cultivada com soja e de várzea cultivada com rotação arroz/soja, bem como área nativa de ambos os locais. O local onde o estudo foi desenvolvido situa-se no município de São Gabriel em uma propriedade rural. Os tratamentos avaliados foram: área de coxilha sob mata nativa, área de coxilha sob campo nativo, área de coxilha cultivada com soja, área de várzea sob mata nativa e área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm, com 3 repetições para granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade e 2 repetições para densidade de partícula. Quanto a densidade do solo, esta foi menor para as áreas de coxilha e várzea sob mata nativa, com aumento da densidade para coxilha sob campo nativo, coxilha cultivada com soja e várzea cultivada com rotação arroz/soja. Os valores de densidade de partícula aumentaram com a profundidade. Para porosidade total e macroporosidade os maiores valores foram encontrados na coxilha sob mata nativa e várzea sob mata nativa, com diminuições na coxilha sob campo nativo e cultivada com soja e várzea cultivada com rotação arroz/soja e aumento da microporosidade. As áreas sob mata nativa apresentaram as melhores condições físicas do solo em todos os parâmetros analisados.

Palavras-chaves: qualidade física do solo, densidade do solo, porosidade, uso do solo.

ABSTRACT

Soil quality is related to its ability to exercise their functions in different ecosystems, such as sustain biological activity, promote the growth and health of plants and animals and maintain environmental quality. The change in shape and intensity of land use affects soil quality and leads to positive and negative changes on its physical characteristics. There are few studies on physical quality of upland and paddy soils in the southern half of RS. The aim of this study was to characterize and evaluate the density and soil particle size, the total porosity, macroporosity and microporosity in an upland soil cultivated with soybean and lowland rice farming with rotation / soybean and native area both locations. The location where the study was conducted is located in the municipality of São Gabriel in a farm. The treatments were upland area under forest, upland area under native grassland, upland area cultivated with soybean, a lowland area under forest and cultivated with rice rotation / soybean. The samples were collected in the 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm, with 3 repetitions for particle size, bulk density, total porosity, macroporosity and microporosity and 2 repetitions for density particle. Soil density was lower in upland and lowland areas under native forest, with increased density for upland under native grassland, upland cultivated with soybeans and lowland cultivated with rotation rice / soybean. The values of the particle density increased with depth. For total porosity and macroporosity the highest values were found in upland under native forest and lowland forest soil, with decreases in upland under native grassland and cultivated with soybean. Lowland rotation showed an increase in microporosity. The areas under native forest showed the best physical condition of the soil in all parameters analyzed.

Keywords: physical soil quality, soil density, porosity, soil use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Locais de amostragem do solo para realização do estudo: (1) Área de coxilha sob mata nativa (CX-MN); (2) Área de coxilha sob campo nativo (CX-CN); (3) Área de coxilha cultivada com soja (CX-SO); (4) Área de várzea sob mata nativa (VZ-MN); (5) Área de várzea cultivada com rotação arroz/soja (VZ-AS).....	23
Figura 2: Trincheira aberta para coleta de amostras de solo na condição de CX-MN.	24
Figura 3 - Análise granulométrica da fração mineral do solo (c), (d) (e), (f). Trincheira (a) para coleta das amostras deformadas (b).....	25
Figura 4 - Coleta das amostras para avaliação da densidade e porosidade do solo.	26
Figura 5 - Mesa de tensão utilizada para avaliação da macro e microporosidade e porosidade total.....	26
Figura 6 - Avaliação da densidade de partícula.	28
Figura 7: Densidade do solo (D_s) obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.	32
Figura 8 - Macroporosidade do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.	36
Figura 9 - Microporosidade do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.	37

Figura 10 - Porosidade total do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição granulométrica nas diferentes profundidades sob diferentes usos do solo.	30
Tabela 2 - Densidade de partícula do solo (g/cm^3) nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30 cm, para as diferentes condições de uso do solo. Médias seguidas por mesma letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	31

LISTA DE SIGLAS

CO₂- Dióxido de Carbono

CH₄- Metano

CX-MN – Coxilha sob Mata Nativa

CX-CN – Coxilha sob Campo Nativo

CX-SO – Coxilha cultivada com soja

Ds- Densidade do Solo

DP- Densidade de Partícula

Ma- Macroporos

Mi- Microporos

MOS - Matéria Orgânica do Solo

N₂O - Óxido Nitroso.

PT- Porosidade do Solo

VZ-MN - Várzea sob Mata Nativa

VZ-AS - Várzea cultivada sob rotação Arroz/Soja.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Solo na qualidade ambiental	14
2.2 Propriedades físicas na qualidade do solo	15
2.2.1 Densidade do Solo	16
2.2.2 Porosidade do Solo	18
2.3. Uso e manejo do solo	18
2.4 Degradação das propriedades físicas	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Caracterização da área experimental	22
3.2 Tratamentos avaliados	22
3.3 Amostragem do solo	23
3.4 Indicadores físicos avaliados em laboratório	24
3.4.1 Análise granulométrica do solo	24
3.4.2 Densidade e porosidade do solo	25
3.4.4 Densidade de partícula	27
4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1 Granulometria do solo	29
5.2 Densidade de partícula	30
5.3 Densidade do solo	31
5.4 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.	35
6. CONCLUSÕES	41
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está relacionada com sua capacidade de exercer suas funções nos diferentes ecossistemas, como sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais e manter a qualidade ambiental. Essa capacidade resulta de processos químicos, físicos e biológicos que estão sujeitos a alterações pelas atividades desenvolvidas pelo uso e manejo do solo. A perda da qualidade do solo, seja em nível químico, físico e biológico, provoca a redução da capacidade deste em exercer tais funções. A perda da qualidade química interfere no teor de nutrientes, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e no pH do solo, enquanto que perda da qualidade biológica interfere na biomassa microbiana, na sua diversidade e atividade. Quanto à perda da qualidade física, esta afeta diretamente o espaço poroso do solo, interferindo na infiltração de água, aeração, drenagem, limitando o crescimento radicular e atividade de organismos do solo. Esta perda da qualidade física é resultado da desestruturação do solo. Sobre a ótica da física, um solo com boa qualidade possui uma boa estrutura que permite infiltração, armazenamento e redistribuição de água, aeração e resistência não limitante ao crescimento das plantas (OADES,1984).

Um solo quando mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, exibe características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas. Entretanto, quando o solo é utilizado pelo homem, seja em atividades agropecuárias, construção civil ou outras atividades de exploração, as propriedades físicas podem ser alteradas. Assim, a avaliação das alterações físicas no solo após a introdução de atividades de caráter antrópico, torna-se fundamental para avaliar o efeito destas atividades sobre o solo.

Dessa forma, ao se buscar avaliar a sustentabilidade ambiental das atividades antrópicas tem-se apostado no uso de indicadores de qualidade do solo, pois a relação entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro.

Logo a mensuração da qualidade física do solo, através da quantificação de suas propriedades, pode ser importante tendo em vista avaliar o impacto dos

diferentes sistemas agrícolas na qualidade do solo, bem como buscar a sustentabilidade destas atividades a partir de melhores práticas agrícolas.

Assim, com o intuito de mensurar indiretamente a qualidade física do solo, utilizando indicadores relacionados à sua funcionalidade, o presente trabalho teve como objetivo avaliar tal qualidade em uma propriedade rural no município de São Gabriel/RS em duas posições na paisagem, coxilha e várzea, sob diferentes usos, através dos indicadores de qualidade física, densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em várias profundidades do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solo na qualidade ambiental

A qualidade do solo está muito relacionada à produtividade agrícola. No entanto, esta envolve muito mais que apenas produção de alimentos e fibras, ela se encontra relacionada também à sustentabilidade física, química, conservação dos solos, sistemas de manejo, matéria orgânica e microbiologia do solo. É um fator importante para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

A qualidade do solo determina a sua capacidade de realizar suas funções, como referido por Karlen et al.(1997),ou seja, determinados serviços como: regular a distribuição da água das chuvas ou irrigação de maneira que esta água infiltre, seja armazenada ou drenada para as profundezas, podendo funcionar como filtro e reservatório, contribuindo para que a água tenha qualidade e também possa ao longo do tempo estar abastecendo rios e lagos; regular a atividade biológica e trocas entre fase sólida, líquida e gasosa; ser suporte mecânico para os organismos e suas estruturas e armazenar carbono e regular trocas energéticas. Estas funções contribuem para a qualidade dos ecossistemas, ou seja, para a qualidade do meio ambiente.

Os solos participam de muitos papéis na qualidade ambiental, a começar pela água. Este é integrante do ciclo hidrológico, regula a recarga dos aquíferos e dos cursos de água superficiais e as fontes naturais de disponibilização de água doce. Portanto, quando os solos perdem sua qualidade natural pelo uso inadequado, há um comprometimento da oferta de água em abundância e em qualidade necessárias aos ecossistemas naturais e manejados. Contudo, além da interferência no ciclo hidrológico, a capacidade dos solos de reter carbono ou de emitir os gases relacionados ao efeito estufa faz com que esses corpos desempenhem também papel ativo na regulação do clima. Além disso, sobre o solo existe uma magnífica biodiversidade que não é superior a numerosa fauna microscópica que se encontra em seu interior.

A busca pela compreensão da qualidade do solo contempla mais que uma busca por uma produção agrícola sustentável, mas também por uma melhoria na qualidade dos sistemas ambientais. Como objetivo dos dias atuais, o entendimento da qualidade do solo é fundamental tendo em vista a necessidade de adoção de estratégias para um manejo sustentável dos diversos sistemas de produção (SANS, 2000; TÓTOLA&CHAER, 2002). A manutenção da qualidade do solo no nível desejável é essencial para manter e/ou aumentar a produtividade agrícola e, ao mesmo tempo, controlar a qualidade do meio ambiente, através da qualidade dos componentes solo, água e ar.

2.2 Propriedades físicas na qualidade do solo

A qualidade física dos solos é um importante elemento de sustentabilidade ambiental. Já que esta e os processos do solo estão envolvidos no suporte ao crescimento radicular, no armazenamento e suprimento de água e nutrientes às plantas, nas trocas gasosas e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996; INGARAMO, 2003).

As propriedades físicas são importantes indicadores da qualidade do solo, visto que para ter utilidade prática estes precisam ser sensíveis as variações de manejo. Estas propriedades podem ser avaliadas a partir da densidade, macroporosidade e microporosidade, porosidade total, agregação, aeração do solo, drenagem e resistência mecânica do solo à penetração.

A porosidade e a densidade do solo têm sido utilizadas como indicadoras da qualidade do solo, por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARSHAD et al., 1996). É importante citar também a matéria orgânica do solo (MOS) por ser um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas.

A qualidade física do solo é considerada pobre quando apresenta problemas relacionados a baixa infiltração de água, acentuado escoamento superficial, baixa aeração, baixa densidade de raízes e dificuldade de mecanização.

2.2.1 Densidade do solo

A densidade do solo é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar e estudar a condição física do solo, por representar a estrutura do solo, a qual é determinada pelo arranjo das partículas do solo, que define as características do sistema poroso. A degradação da estrutura do solo altera o arranjo e o volume dos poros, refletindo na densidade.

A densidade do solo também apresenta relação com a textura do solo, sendo seus valores reflexos da composição mineralógica dos solos. Solos arenosos apresentam densidade maior que solos argilosos. A textura do solo é uma das propriedades mais estáveis, sendo levemente modificada pelo cultivo. Contudo, é uma propriedade que tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente nos processos erosivos do solo, pois a textura influencia na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão.

Do mesmo modo a matéria orgânica tem influência na densidade do solo. O aumento da matéria orgânica no solo é acompanhado pelo decréscimo da densidade, devido ao aumento da porosidade, por afetar a sua agregação (BAYER & MIELNICZUK, 2008) e redução de pontos de contato entre as partículas sólidas. Mazurana (2011) aponta em seu trabalho, por exemplo, um aumento da densidade do solo em locais com baixo teor de matéria orgânica.

A densidade do solo também apresenta relação com a profundidade do solo, tendendo a aumentar com o aumento desta, como observado por Laurindo, et al. (2009), isto se deve ao decréscimo da matéria orgânica, menor agregação, maior compactação e diminuição da porosidade do solo em profundidade (COSTA, 2004).

Tendo em vista que a estrutura do solo é sensível a mudanças, os valores de densidade do solo podem ser alterados com o tempo (por processos naturais de adensamento) e/ou pelo uso e práticas de manejo do solo. De acordo com Correchel (1998), o grau e a intensidade de mobilização do solo influenciam os valores de densidade. Logo, ao se monitorar esta propriedade em um período de tempo, pode-

se ter informações importantes sobre o efeito do uso e manejo do solo na sustentabilidade agrícola. A compactação do solo é um tema de destaque quando se fala de densidade do solo, uma vez compactado este solo apresenta como consequência alta densidade, um aumento da resistência do solo e redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo reduz o crescimento e o desenvolvimento radicular e aumenta as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível para preparar solos compactados e a erosão do solo pela menor infiltração de água e maior escoamento superficial (SOANE & OUWERKERK, 1994). Solos compactados podem contribuir também para o aquecimento global, por aumentarem a emissão de CO₂, CH₄ e N₂O do solo (HORN et al., 1995). Isso ocorre pelo aumento da densidade, redução do tamanho de poros, alto teor de água do solo e redução da aeração, que favorecem o aumento da anaerobiose.

A resistência mecânica do solo à penetração é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente, a facilidade das raízes penetrarem o solo. Esta têm sido utilizada para identificar camadas do solo compactadas e mudanças nas propriedades físicas do solo. A densidade do solo tem uma relação direta com a resistência a penetração (CUNHA et al., 2002).

O entendimento da densidade do solo pode auxiliar na tomada de decisão quanto ao estabelecimento de práticas de manejo visando a conservação dos solos, visto que a permeabilidade deste, por sua vez, é inversamente proporcional a esta propriedade, tornando-se importante para indicar a capacidade de armazenamento de água para as plantas e para que se possa encontrar as melhores práticas de conservação do solo e água (MESQUITA & MORAES, 2004). Além disso, a densidade do solo por ser um importante atributo físico dos solos pode fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos, e também sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (COSTA, et al., 2003).

2.2.2 Porosidade do solo

A porosidade do solo corresponde a fração volumétrica ocupada com ar e/ou com água. O estudo dos poros é realizado por meio do conhecimento da distribuição dos tamanhos destes, o que tem relação direta com a estrutura e a textura do solo. A porosidade apresenta relação com a retenção e transporte de água e de ar e é dividida em duas categorias, macroporos, poros com diâmetro acima de 100 μ m e microporos, poros com diâmetros menores do que 30 μ m. (SANTOS, 2008).

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água pelo solo, ao passo que os macroporos são responsáveis pela infiltração e aeração deste. Solos com boa macroporosidade possibilitam um melhor crescimento das raízes e absorção de nutrientes e água por estas. Uma macroporidade reduzida pode impossibilitar o crescimento das raízes (AGUIAR, 2008).

Com relação inversa a densidade do solo, a porosidade também indica alterações no volume poroso e reflete as alterações pelo manejo e uso do solo, podendo sofrer alterações nas relações entre macro e microporosidade, como foi observado no estudo feito por Klein & Libardi (2002).

A compactação do solo reduz o espaço poroso, principalmente os macroporos, afetando o comportamento físico-hídrico, bem como a porosidade de aeração, modificando a dinâmica de gases no solo. Além da compactação, a mudança no uso da terra altera o teor de matéria orgânica do solo, influenciando na porosidade (CASTRO FILHO et al., 1998). O aumento da matéria orgânica do solo promove a formação e estabilização dos agregados, sendo que quanto mais presentes no solo, melhor a sua porosidade, conforme é apontado no estudo feito por Beutler et al., (2005).

2.3. Uso e manejo do solo

O solo é considerado a base dos sistemas de produção agrícola, e com a crescente demanda por alimentos na últimas décadas tem aumentado a intensidade de uso do solo e água em todo o planeta. Mudanças na forma e intensidade do uso

do solo podem apresentar malefícios ou benefícios, diretos ou indiretos sobre as características físicas do solo, que, conseqüentemente, refletirão sobre as características químicas e biológicas, bem como sobre sua qualidade física (STRECK, 2007). Manter a qualidade do solo em nível desejável é importante não só para a produção agrícola, mas também para manter a qualidade do meio ambiente.

Para isso, o uso e manejo do solo são fatores importantes a serem considerados quando se fala em conservar a qualidade do solo. Com a conversão de áreas nativas para sistemas agrícolas há modificações nas propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, uso e manejos adotados e as características edáficas (GODEFROY & JACQUIN, 1975). De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas como estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade do solo adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000).

Com o uso intensivo e manejo incorreto dos solos ocorre a sua degradação física, promovendo alterações na densidade, porosidade do solo e na infiltração de água (BERTOL et al., 2001), determinando alterações nos ecossistemas naturais.

De acordo com Klein (2008), os valores de densidade dos solos (D_s) agrícolas variam de 0,9 a 1,8 g cm⁻³, dependendo da textura e do teor de matéria orgânica do solo. De maneira geral, quanto mais elevada for a D_s pior será sua estruturação e menor a sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Em estudo avaliando sistemas de preparo do solo, Assis & Lanças (2005) obtiveram menores valores de densidade na camada superficial sob mata nativa e sistema de plantio direto, em relação ao preparo convencional, sendo justificado pelo maior teor de matéria orgânica que favorece melhor estruturação e, por conseguinte, redução na D_s .

Vários autores levantaram estudos de alterações da DS e PT em função do uso solo, se comparando com mata nativa (ARATANI, et al., 2009; CARMO, et al., 2011; JAKELAITIS et al., 2008; KLEIN & LIBARDI, 2002; MOTA, et al., 2013).

As mudanças nas propriedades físicas do solo podem manifestar-se de várias maneiras, na infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; nas trocas

de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas e no crescimento das raízes. Determinadas práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nas propriedades físicas do solo, em especial na sua estrutura, podendo tais alterações serem permanentes ou temporárias influenciando o desenvolvimento das plantas. Com isso, Dexter & Youngs (1992) citado por Blainski (2008) argumentam que o entendimento e quantificação dos impactos causados pelo uso e manejo do solo nas propriedades físicas é fundamental para a escolha de sistemas agrícolas menos impactantes. A degradação do solo ou a preservação deste depende do tipo de manejo a que ele é submetido.

2.4 Degradação das propriedades físicas

A degradação física do solo a partir dos diferentes tipos de manejo é um dos principais processos que levam a limitação do crescimento e desenvolvimento das plantas e a problemas ambientais. Responsável pela perda da qualidade estrutural dos solos, a degradação física resulta das perdas de matéria orgânica e compactação do solo, com mudanças na distribuição e tamanho dos poros, na taxa de infiltração e na disponibilidade de água bem como a redução da diversidade e atividades da fauna do solo (DEXTER, 1988). A perda de solo por erosão, a redução da matéria orgânica e a compactação são alguns dos fatores que concorrem para a degradação física do solo, com conseqüente perda da capacidade de exercer as funções físicas para o crescimento e ancoragem das raízes, bem como de favorecer o suprimento de água, nutrientes e oxigênio às plantas (DORAN et al., 1996).

Além de representar uma ameaça as atividades agrícolas, a degradação física do solo pode trazer malefícios ao meio ambiente, como a erosão hídrica (BERTOL et al., 2001) e a redução da biodiversidade edáfica. A erosão é a principal ameaça ambiental para sustentabilidade e capacidade produtiva do solo. A compactação antropogênica devido ao tráfego de máquinas sobre o solo se constitui na maior causa da degradação física dos solos agrícolas (HAKANSSON & LIPIEC, 2000), pois o impossibilita de realizar adequadamente a infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial, trazendo conseqüências para o meio ambiente como erosões e assoreamentos; reduz sua capacidade de aeração, devido

aos espaços vazios do solo estarem reduzidos; diminui sua permeabilidade ao ar e água, devido à redução de macroporos e aumento da densidade, provocando dificuldades para o crescimento das raízes e a redução do teor de água do solo para as plantas. Segundo Costa et al., (2003) o emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica diminuindo a qualidade do solo, o que muitas vezes pode ser de difícil reversão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O presente estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural, situada no município de São Gabriel, a qual está localizada na região fisiográfica da Campanha Gaúcha (RS). A área está delimitada entre as coordenadas 30°04'50S e 53°56'37" O.

A região se caracteriza pela presença de solos hidromórficos (Planossolos) nas áreas de várzea e Argissolos nas coxilhas. O clima da região é caracterizado como cfa (subtropical úmido) conforme classificação de Köeppen, sendo as temperaturas médias anuais de 19°C com mínima de 5°C e máxima de 31°C. A precipitação média anual é superior a 1300mm e inferior a 1800mm (MORENO, 1961).

3.2 Tratamentos avaliados

Nesta propriedade foram avaliados solos de cinco áreas (Figura1):

Área de coxilha sob mata nativa (CX-MN)

Área de coxilha sob campo nativo (CX-CN)

Área de coxilha cultivada com soja em plantio direto (CX-SO)

Área de várzea sob mata nativa (VZ-MN)

Área de várzea cultivada com rotação arroz/soja (VZ-AS)

As áreas com lavouras encontram-se sob cultivo há pelo menos 20 anos. A área de campo nativo já foi utilizada com o cultivo de soja, porém há pelo menos 20 anos encontra-se sob pastagem natural.

Figura 1- Locais de amostragem do solo para realização do estudo: (1) Área de coxilha sob mata nativa (CX-MN); (2) Área de coxilha sob campo nativo (CX-CN); (3) Área de coxilha cultivada com soja (CX-SO); (4) Área de várzea sob mata nativa (VZ-MN); (5) Área de várzea cultivada com rotação arroz/soja (VZ-AS).



Fonte: Mirla Andrade Weber

3.3 Amostragem do solo

Para caracterização e avaliação da qualidade física do solo, foram nestas cinco áreas abertas trincheiras para coleta das amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-30 cm (Figura 2). Foram obtidas amostras deformadas para avaliação da granulometria e densidade de partícula (2 repetições de campo) e indeformadas (3 repetições) para avaliação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade.

Figura 2-Trincheira aberta para coleta de amostras de solo na condição de CX-MN.



Fonte: Mirla Andrade Weber

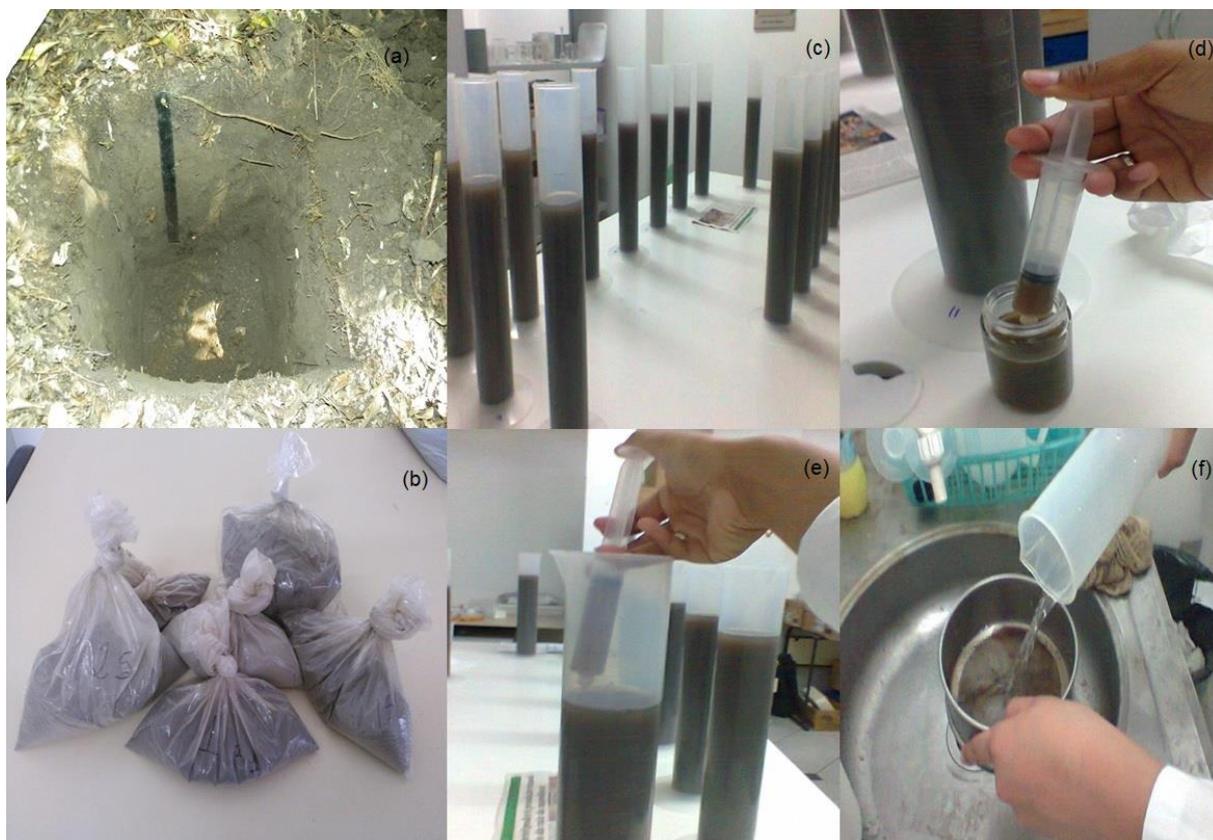
3.4 Indicadores físicos avaliados em laboratório

3.4.1 Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) com modificações em todas as profundidades para todos os locais de coleta (Figura 3a).

Para esta análise foram pesadas 20g de solo (Figura 3, b) em frascos Snap-cap. Após foi adicionado junto ao solo 50 ml de água destilada e 10 ml de solução NaOH 1 M, em seguida foram postos a agitar por 16 horas em agitador horizontal. Logo depois, a solução foi transferida para provetas de 1000 ml, sendo o volume completado com água destilada até 1000 ml, sendo o mesmo homogeneizado (Figura 3, c). Após a descida do silte foi pipetado 100 ml de solução contendo apenas argila (Figura 3, d, e). A solução com argila foi posta para secagem em estufa a 105°C. Em seguida foi efetuada a lavagem da amostra (Figura 3, f) para a retirada da areia e posta a secar em estufa a 105°C até peso constante.

Figura 3 - Análise granulométrica da fração mineral do solo (c), (d) (e), (f). Trincheira (a) para coleta das amostras deformadas (b).



Fonte: Autora

3.4.2 Densidade e porosidade do solo

Para determinação da densidade e porosidade do solo foram coletadas três amostras indeformadas em cada local e condição de uso do solo em cada camada com anéis em aço de 4 cm de altura e 5,7 cm de diâmetro interno (Figura 4). Realizada a limpeza do solo excedido do volume dos anéis em campo, os mesmos foram acondicionados em filme de PVC e levados ao laboratório para processamento e mensuração da densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997).

Em laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade no mínimo por 24h, sendo posteriormente pesadas e levadas à mesa de tensão, onde foram submetidos à tensão de sucção de 10 kPa (Figura 5), permanecendo nessa até que

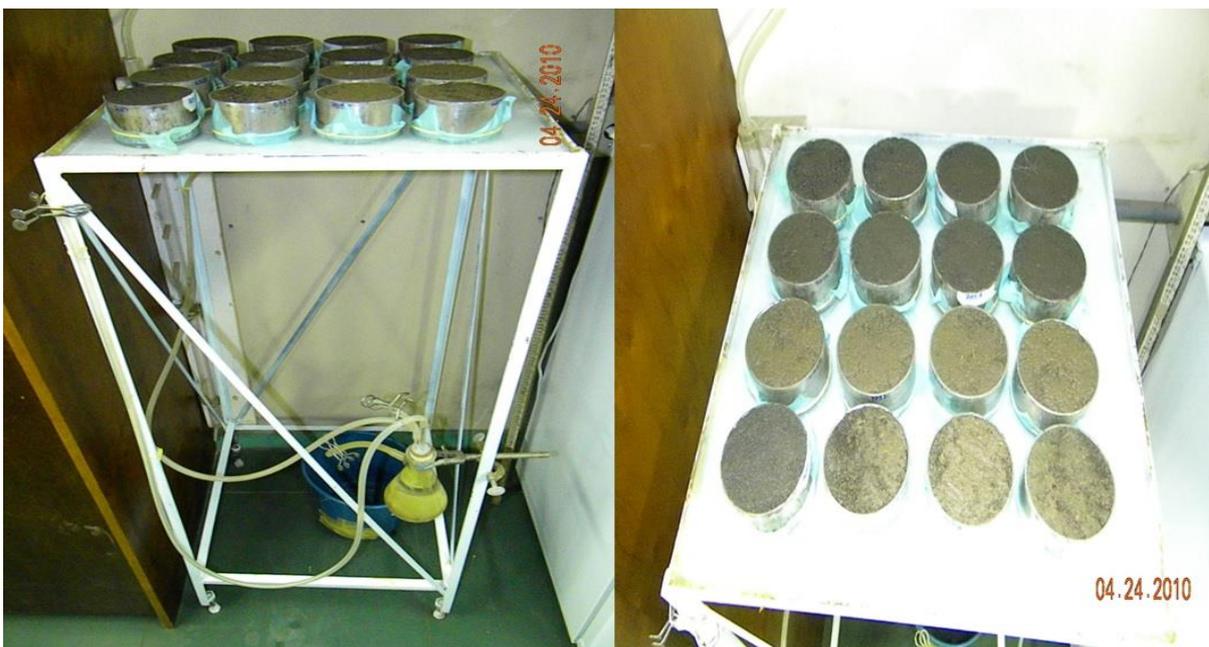
se estabeleceu o equilíbrio entre a água retida na amostra e a sucção aplicada. Após, pesou-se novamente as amostras e encaminhadas para estufa a 105°C (EMBRAPA, 1997).

Figura 4 - Coleta das amostras para avaliação da densidade e porosidade do solo.



Fonte: Mirla Andrade Weber

Figura 5 - Mesa de tensão utilizada para avaliação da macro e microporosidade e porosidade total.



Fonte: Michael Mazurana

A determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo foram calculadas com base nas equações:

$$Ma = \frac{(P1-P2)}{Vc} \times 100 \quad \dots (1)$$

$$Mi = (PT - Ma) \quad \dots(2)$$

$$PT = \frac{P1}{Vc} \dots(3)$$

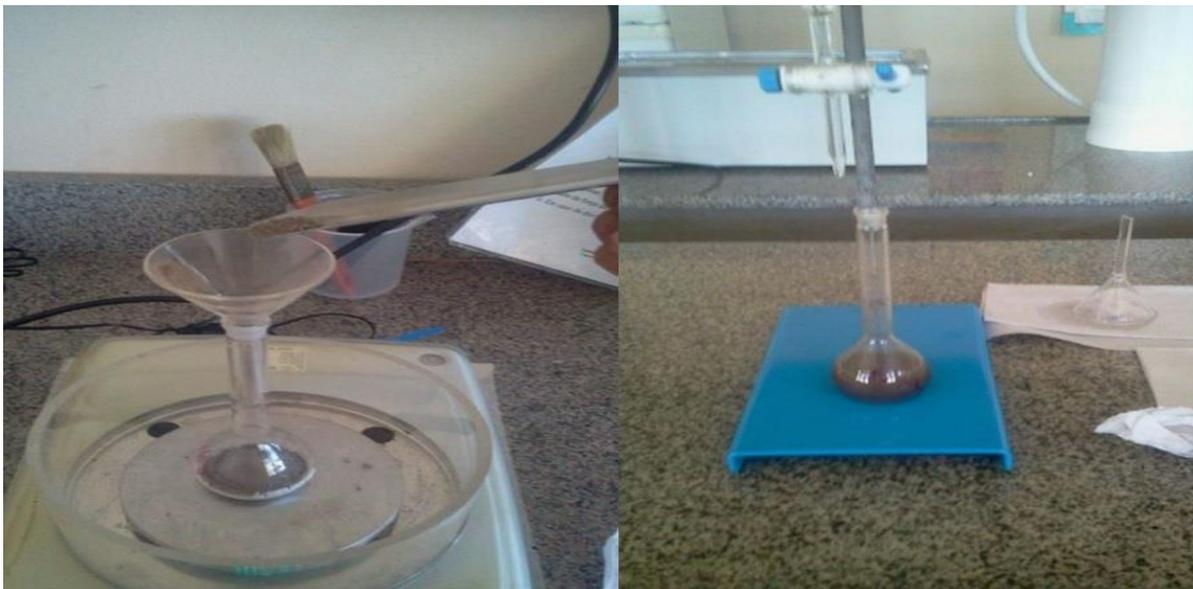
$$Ds = \frac{Mss}{Vc} \dots(4)$$

Onde: Ma= macroporosidade (%); Ds= densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$); Mss= massa de solo seco (Mg); Vc= volume do cilindro (m^{-3}); P1= massa de solo úmido (saturado com água) (Mg); P2= massa de solo a 10 kPa; PT= Porosidade Total.

3.4.4 Densidade de partícula

A determinação desta característica foi realizada segundo o método do balão volumétrico, utilizando álcool como líquido penetrante (EMBRAPA, 1997) (Figura 6).

Figura 6 - Avaliação da densidade de partícula.



Fonte: Autora

4. ANÁLISE ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o pacote estatístico ASSITAT – (Statistical Assistance). O teste de Tukey a 5% de nível de significância foi utilizado para comparar médias de densidade, porosidade total, macro e microporosidade, analisados estatisticamente dentro de um esquema experimental em parcelas sub-divididas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Granulometria do solo

Na Tabela 1 encontram-se os teores de areia, silte e argila nas cinco profundidades amostradas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm) nos 5 locais do estudo (CX-MN, CX-CN, CX-SO VZ-MN e VZ-AS). Pode-se observar que os maiores teores de areia foram encontrados nas áreas de coxilha. Já os maiores teores de argila e silte foram encontrados nas áreas de várzea.

De acordo com a distribuição granulométrica das partículas foi possível enquadrar as classes de solos quanto a sua classificação textural, por meio do triangulo textural (LEMOS & SANTOS, 1984). Dessa forma os locais de coxilha apresentaram textura franca e os de várzea textura franco-siltosa. Como a área da coxilha encontra-se em no topo do terreno, essa apresenta uma maior proporção da fração de areia. Já as áreas mais baixas como a várzea, apresentam partículas mais finas, como silte e argila, que podem ter sido carreadas pela chuva para as áreas mais baixas do terreno devido a declividade do local.

Tabela 1 - Composição granulométrica nas diferentes profundidades sob diferentes usos do solo.

Uso do solo ⁽¹⁾	Profundidade(cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30
Areia g/kg					
CX-MN	366,75	408,51	423,94	439,79	424,14
CX-CN	411,66	415,95	419,16	400,64	393,95
CX-SO	404,44	384,15	392,63	380,90	310,20
VZ-MN	162,75	250,67	235,32	234,58	227,84
VZ-AS	229,81	228,82	271,81	238,77	255,78
Silte g/kg					
CX-MN	525,39	488,10	467,34	435,41	463,26
CX-CN	456,73	465,66	460,58	463,21	456,19
CX-SO	456,26	463,12	451,46	444,14	505,97
VZ-MN	677,11	483,58	532,76	542,96	557,24
VZ-AS	563,45	555,71	521,27	556,43	580,28
Argila g/kg					
CX-MN	107,86	103,39	108,72	124,80	112,61
CX-CN	131,62	118,39	120,26	136,15	149,85
CX-SO	139,29	152,73	155,91	174,96	183,83
VZ-MN	160,14	265,75	231,92	222,46	214,92
VZ-AS	206,73	215,47	206,92	204,80	163,94

Fonte: Autora

- (1) CX-MN=Área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= Área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= Área de coxilha cultivado com soja, VZ-MN= Área de várzea sob mata nativa, VZ-AS= Área de várzea cultivada com rotação arroz/soja

5.2 Densidade de partícula

Entre as profundidades, os maiores valores de densidade de partícula foram observados na camada de 15-20 cm, com média de 2,60 g/cm³ e os menores na camada de 0-5 cm, com média de 2,36 g/cm³, em todos os tratamentos de uso do solo (Tabela 2), esta camada diferiu significativamente das demais camadas analisadas. Não houve interação significativa entre as profundidades analisadas e os diferentes usos do solo estudados.

Em relação aos diferentes usos de solo, os menores valores de densidade de partícula foi nas áreas de VZ-MN e CX-MN, com médias de 2,37 e 2,47g/cm³,

respectivamente. Possivelmente essa menor densidade de partículas tanto na camada de 0 – 5 cm, quanto nas áreas de mata nativa seja devido ao maior teor de MOS, pois esta possui baixa densidade (KLEIN, 2008).

Tabela 2 - Densidade de partícula do solo (g cm^3) nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30 cm, para as diferentes condições de uso do solo. Médias seguidas por mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Uso do solo ⁽¹⁾	Profundidade(cm)					Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	
	DP g/cm^3					
CX-MN	2,27	2,48	2,50	2,51	2,59	2,47 ^{ab}
CX-CN	2,47	2,57	2,56	2,74	2,59	2,59 ^a
CX-SO	2,49	2,47	2,48	2,65	2,55	2,53 ^a
VZ-MN	2,08	2,43	2,42	2,47	2,45	2,37 ^b
VZ-AS	2,48	2,49	2,51	2,60	2,57	2,53 ^a
MÉDIA	2,36 ^c	2,49 ^b	2,49 ^b	2,60 ^a	2,55 ^{ab}	

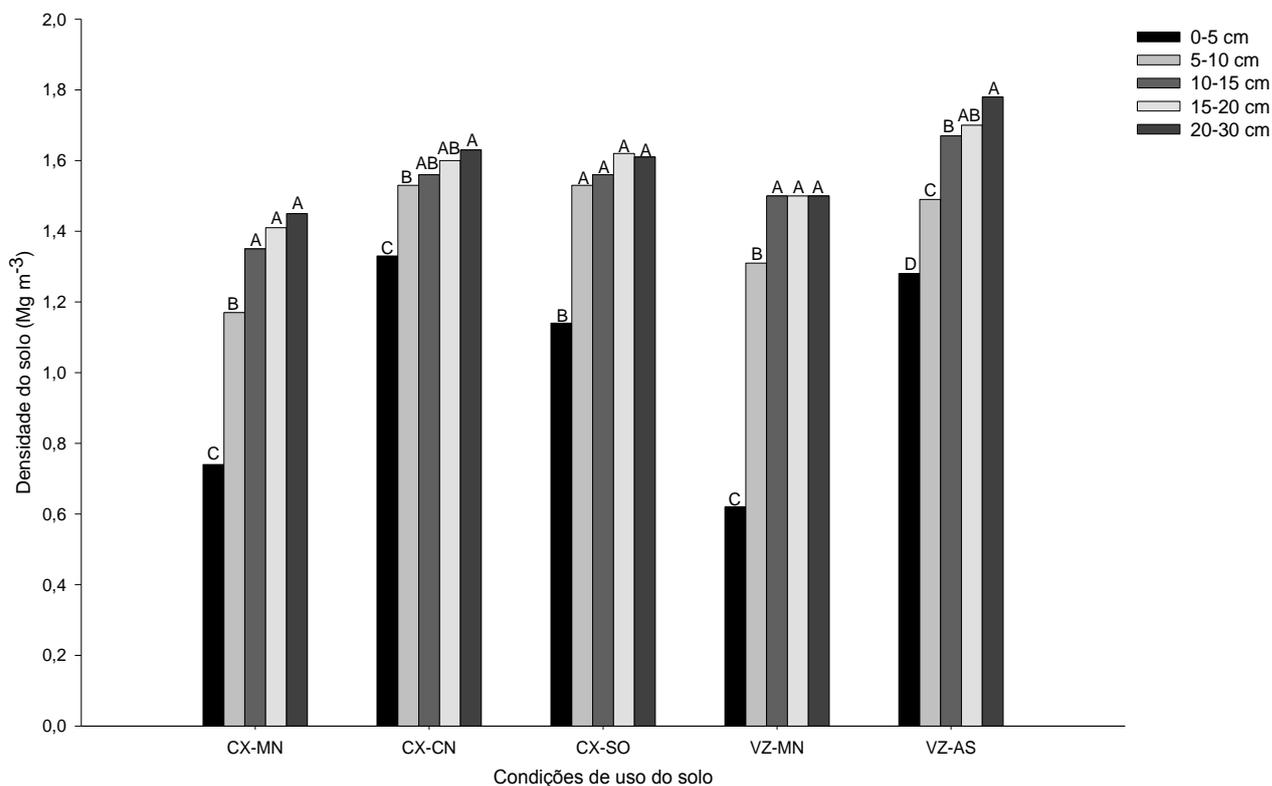
Fonte: Autora

(1) CX-MN=Área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= Área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= Área de coxilha cultivado com soja, VZ-MN= Área de várzea sob mata nativa, VZ-AS= Área de várzea cultivada com rotação arroz/soja

5.3 Densidade do solo

Os resultados mostram que os sistemas de uso do solo CX-CN, CX-SO e VZ-AS avaliados aumentaram a densidade do solo em relação às áreas de coxilha e várzea sob mata nativa (CX-MN e VZ-MN) (Figura 7). Houve interação significativa entre os diferentes usos do solo e profundidades estudadas.

Figura 7 -Densidade do solo (Ds) obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.



Fonte: Autora

Não houve diferença estatística entre as camadas dentro da profundidade de 10-30 cm nos tratamentos CX-MN, CX-SO e VZ-MN. As profundidades de 0-10 cm dos tratamentos CX-MN, CX-CN, VZ-MN e VZ-AS diferiram estatisticamente das camadas mais profundas (10-30 cm) (Figura 7).

Em relação às áreas de coxilha, foi observado um aumento da densidade do solo para os tratamentos CX-CN e CX-SO em relação à área de coxilha sob mata nativa (CX-MN) independentemente da profundidade avaliada (Figura 7). Resultados semelhantes foram verificados em trabalhos de Anjos et al., (1994) e Klein & Libardi (2002).

Para as camadas mais profundas observa-se que nos tratamentos CX-CN e CX-SO os valores deste atributo físico do solo são mais elevados, quando

comparado com o tratamento CX-MN. Para a CX-MN, tratamento este tido como referência e sem uso agrícola, a densidade foi próxima de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 7).

A maior D_s observada nos tratamentos com uso antrópico pode ser devido ao pisoteio animal que provoca uma maior compactação na camada superficial em áreas de pastagem (CAVENAGE et al., 1999) e também pelo trânsito de máquinas durante o manejo e tratos culturais das culturas agrícolas (COSTA et al., 2003; STRECK et al., 2004). Resultados semelhantes foram verificados no trabalho de Zalamena, (2008). De acordo com Falleiro et al., (2003) e Zalamena, (2008) o aumento da densidade do solo em lavouras que adotam o plantio direto pode ser considerado uma consequência normal desse sistema de manejo, como neste caso da CX-SO.

Para às áreas de várzea cultivada com rotação arroz/soja (VZ-AS) também foi observado um aumento da densidade do solo (D_s) se comparado com a área de várzea sob mata nativa (VZ-MN) (Figura 7). A camada 0-5 cm se diferenciou significativamente de ambos os tratamentos para as camadas mais profundas. Os maiores valores de densidade do solo encontrados na área de várzea cultivada com rotação arroz/soja, possivelmente seja devido ao aumento na intensidade de uso, na qual ocasiona em um aumento na densidade do solo, provavelmente resultante da maior compactação do solo nos sistemas agrícolas (PANDOLFI et al., 2007). Na área VZ-AS a rotação soja/arroz é preparada em plantio convencional sempre após o cultivo do arroz, ou seja, antes da semeadura da soja, sendo assim realizado a cada dois anos o revolvimento do solo, o que pode estar provocando a destruição da estrutura do solo.

Logo os valores de densidade tendem a aumentar ao longo do tempo, como resultado do acomodamento natural do solo e dos efeitos dos trabalhos e técnicas de preparo nele realizados (CAVENAGE et al., 1999; ARAÚJO et al., 2004), que promovem um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando-o e compactando-o, diminuindo sua porosidade, conforme foi discutido no estudo de Carneiro, (2010).

De modo geral, os valores da D_s foram menores, diferenciando-se estatisticamente, na profundidade de 0-5 cm, quando comparados com as camadas mais profundas, principalmente nos sistemas sob condições mais naturais (CX-MN e

VZ-MN) (Figura 7). Tal fato pode estar relacionado a quantidade de MOS, observada visualmente nesses tratamentos (CX-MN e VZ-MN), que afeta diretamente na agregação do solo, conforme apontam Bayer & Mielniczuk, (2008). A MOS pode ocasionar o fortalecimento das ligações entre o material mineral, reduzindo, assim, a densidade do solo (BRAIDA, 2004). Possivelmente, a menor densidade encontrada nas áreas de mata nativa, nas camadas superficiais, também seja explicada além da maior quantidade de matéria orgânica como também pela ausência do tráfego de máquinas agrícolas, concordando com resultados obtidos por Dalal e Chan (2001), Bertol et al., (2004), Lemos Filho et al., (2008).

Segundo Mesquita & Moraes (2004) geralmente há maior variação na densidade nas camadas superficiais do solo devido ao tipo de manejo nele empregado. Assim os menores valores de densidade encontrados na CX-SO nas camadas superficiais (0-5) (Figura 7) podem ser resultado da amostragem ter sido realizada em uma área onde passou o sulcador da semeadora, que pode ter provocado um revolvimento localizado do solo. Para a CX-CN na camada de 0-5 cm a baixa densidade é explicada pela presença de grande quantidade de raízes, especialmente próximas à superfície do solo.

Reichert et al., (2007) apresentaram diversos valores críticos de densidade do solo, identificados por vários autores. Esses valores críticos foram separados por textura do solo, baseado em observações às restrições do crescimento radicular e a produtividade de algumas culturas, realizado em experimentos de campo. Para este trabalho o limite crítico para a densidade do solo para as áreas de várzea (VZ-MN e VZ-AS), segundo estes autores é de $1,59 \text{ Mg m}^{-3}$ (limite crítico para solos de textura franco-siltosa). Os valores de densidade permaneceram inferiores ao limite crítico para VZ-MN, já para VZ-AS os valores de densidade foram inferiores nas camadas de 0-10 cm e superiores na camada de 10-30 cm. Para as áreas de coxilha (CX-MN, CX-CN e CX-SO), o limite crítico para densidade do solo segundo Reinert, et al., (2008) é de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ (limite crítico para solos de textura franca), os valores de densidade do solo para CX-MN, CX-CN e CX-SO permaneceram inferiores ao limite crítico.

Baseado nestes dados se infere que o solo dos diferentes tratamentos, não estão causando restrições ao desenvolvimento das plantas para as camadas

superficiais, visto que os valores de densidade permaneceram abaixo do limite crítico, o que não foi evidenciado nas camadas mais profundas do tratamento de VZ-AS. (Figura 7).

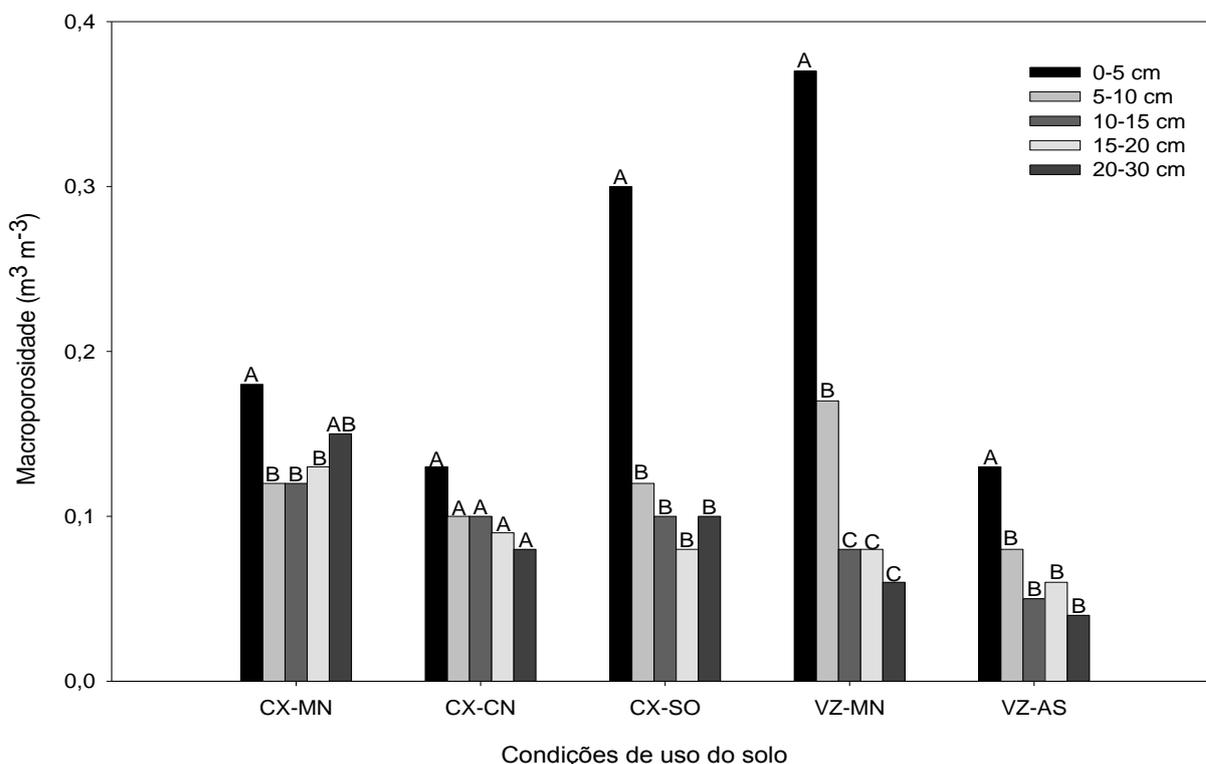
5.4 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

Os maiores valores de macroporosidade (Ma) e de porosidade total (PT) e menores valores de microporos (Mi) foram observados nas áreas de CX-SO (este na camada de 0-5), CX-MN e VZ-MN. A macroporosidade e a microporosidade apresentaram alterações, com uma tendência de diminuição em profundidade.

Houve interação significativa entre os locais e camadas avaliadas. Para a macroporosidade, não houve diferenças estatísticas entre as profundidades dentro da camada de 5-30 cm na CX-MN, CX-CN, CX-SO e VZ-AS. Para o tratamento de VZ-MN não houve diferença estatística entre as camadas de 10-30 cm. (Figura 8).

Para as áreas de coxilha os maiores valores de macroporosidade foram encontrados na CX-SO, na camada de 0-5 cm (Figura 8). A maior macroporosidade encontrada na área de coxilha cultivada com soja, provavelmente seja em decorrência da coleta das amostras terem ocorrido após um revolvimento na linha da semeadura. Costa et al., (2009) constataram que o revolvimento do solo com arado e grade ou escarificador, reduz o teor de carbono de compostos orgânicos, a estabilidade de agregados, a densidade e a capacidade de campo, porém, aumenta a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração.

Figura 8 -Macroporosidade do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância dentro de cada local.



Fonte: Autora

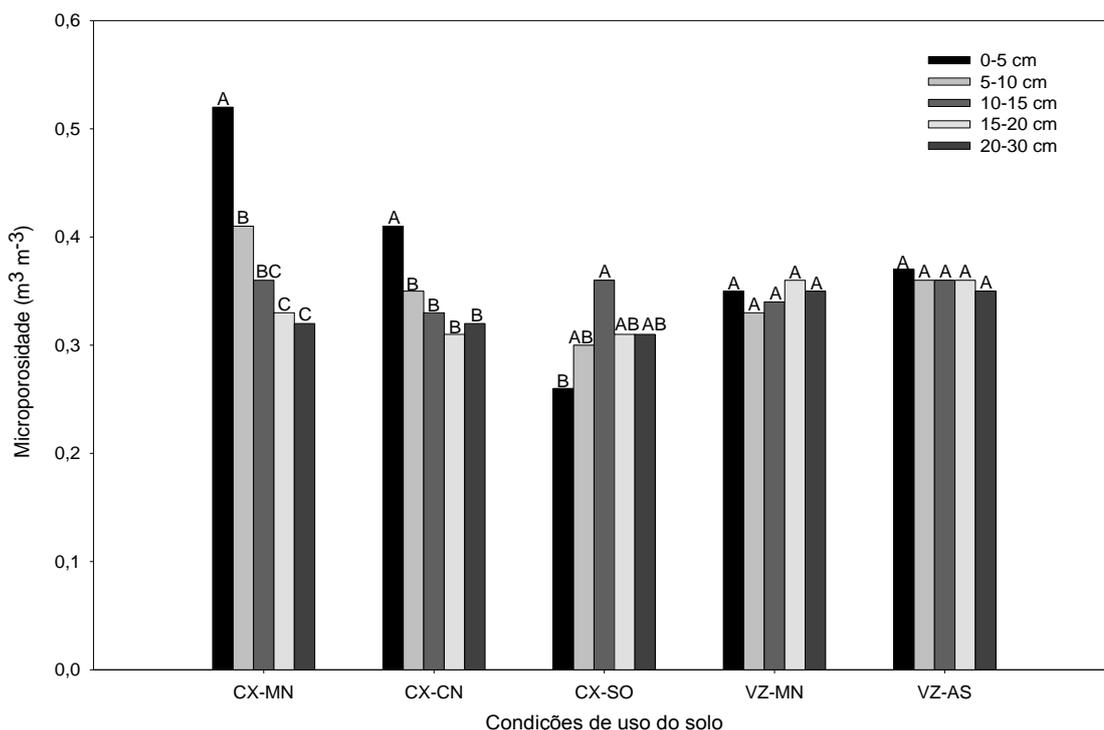
Entretanto os valores de macroporosidade da CX-MN foram superiores a CX-CN e CX-SO, nas camadas de 5-30 cm (Figura 8), onde verificou-se que a área de coxilha sob mata nativa apresentou uma macroporosidade maior, em comparação com a área de coxilha sob campo nativo e cultivada com soja (CX-CN e CX-SO). Esse resultado deve-se, possivelmente, em função do arranjo natural do solo não mobilizado para CX-MN levando a maior macroporosidade e pela pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas para CX-SO (SILVEIRA & STONE, 2003), bem como pela contínua pressão do pastejo para a CX-CN, provocando uma menor macroporosidade nestes dois últimos.

Os valores de microporos variaram de 0,26 a 0,52 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, com interação significativa entre os locais e camadas avaliadas, sendo os menores valores encontrados na CX-SO e os maiores na CX-MN seguido da CX-CN (Figura 9). Na

condição CX-CN não houve diferença entre as camadas de 5-30 cm, ao passo que nos demais tratamentos da coxilha houve diferença. Para a CX-SO a camada de 0-5 cm, diferiu significativamente das demais profundidades (Figura 9).

Com relação à área de coxilha sob mata nativa e campo nativo a quantidade de microporos decresce em profundidade sendo sempre maior na CX-MN (Figura 9). O mesmo foi encontrado por Martins et al., (2006), comparando perfis de mata nativa e campo nativo.

Figura 9 -Microporosidade do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.



Fonte: Autora

Para as áreas de várzea, os valores de macroporosidade foram maiores na VZ-MN em comparação à VZ-AS (Figura 8). Possivelmente os elevados teores de macroporos na VZ-MN se deve a alta concentração de material orgânico, uma vez

que a ausência do revolvimento do solo e do tráfego de maquinários agrícolas, em determinados sistemas, favorece o incremento de matéria orgânica e melhoria da estrutura do solo. Assim, solos sob vegetação nativa geralmente apresentam características físicas, como estrutura, densidade do solo e espaço poroso, em níveis ecologicamente desejáveis (RODRIGUES, et al., 2010).

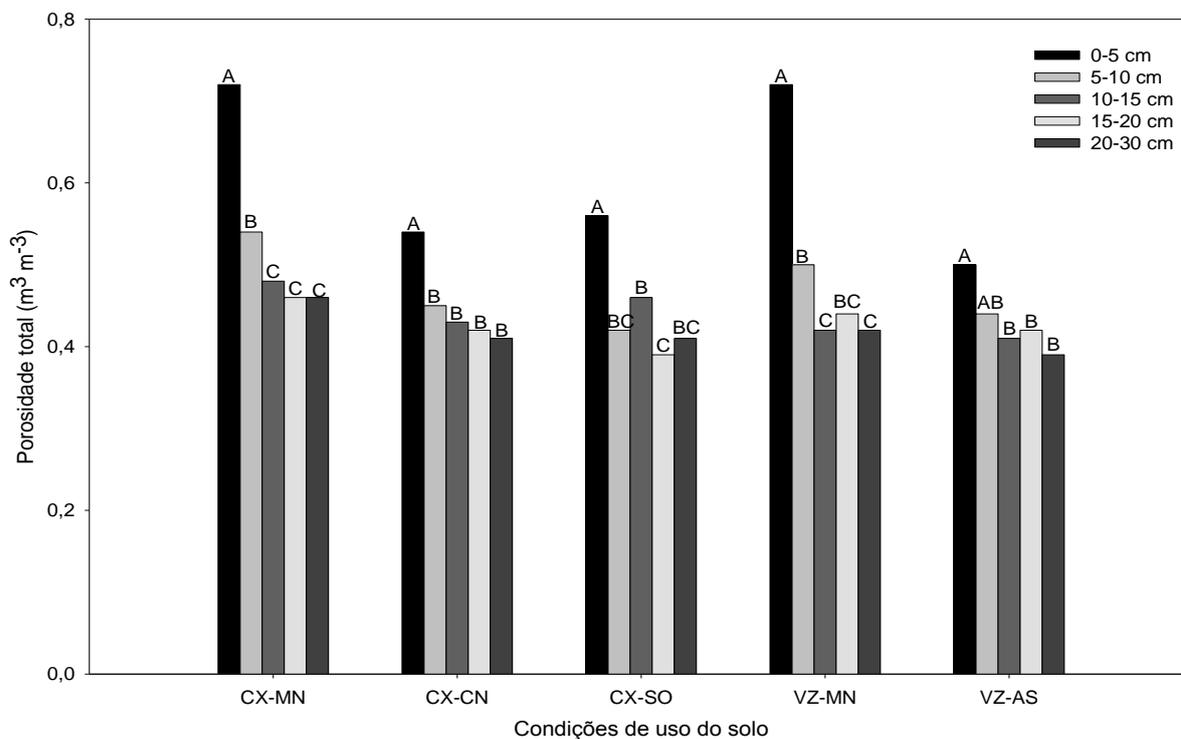
A condição da VZ-AS ter exibido menores valores de macroporosidade (Figura 8), pode estar relacionado ao fato de ser uma área com constante ocorrência de atividades agrícolas para plantio da rotação arroz/soja, implicando na possível compactação e com isso redução do volume de macroporos no solo. A compactação em razão do manejo do solo e das culturas pode implicar em alterações físicas, como redução da macroporosidade com conseqüente aumento da microporosidade, que determinam condições ideais ou limitantes ao desenvolvimento vegetal (COLLARES et al., 2008).

Para o atributo microporosidade não houve diferença significativa para interação entre os diferentes usos do solo (VZ-MN e VZ-AS) e profundidades estudadas (Figura 9).

A porosidade total apresentou valores compreendidos entre 0,36 e 0,72 m³m⁻³, não variando estatisticamente entre os tipos de uso do solo, CX-MN e VZ-MN na profundidade de 0-5 cm em relação a CX-CN, CX-SO e VZ-AS (Figura 10). Houve interação significativa entre os locais e camadas avaliadas.

Para as condições sob mata nativa (CX-MN e VZ-MN) os valores para porosidade total foram maiores (Figura 10), possivelmente isto ocorra pela maior teor de MOS, na qual além de possuir baixa densidade proporciona uma melhor estrutura ao solos dessa área, implicando assim na diminuição da densidade do solo, como foi observado nos dados aqui apresentados e nos dados apresentados por Araújo et al., (2004) comparando uma área de mata nativa com outra cultivada.

Figura 10 -Porosidade total do solo obtida em diferentes profundidades sob as diferentes condições de uso do solo: CX-MN= área de coxilha sob mata nativa, CX-CN= área de coxilha sob campo nativo, CX-SO= área de coxilha cultivada com soja, VZ-MN= área de várzea sob mata nativa e VZ-AS= área de várzea cultivada com rotação arroz/soja. Letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, dentro de cada local.



Fonte: Autora

Houve redução da porosidade total em profundidade, para os tratamentos CX-CN e VZ-AS (Figura 10). A redução na PT está associada à redução da macroporosidade e conseqüente incremento da microporosidade. A transformação de macroporos em microporos como sugerido pelos dados obtidos (Figura 8 e Figura 9) é frequentemente observada com o incremento de atividades de uso do solo (CARVALHO et al., 2004; TORMENA et al., 2004), como por exemplo as atividades durante o plantio (aragem, gradagem, passagem de maquinário) e pelo pastejo dos animais.

Para a condição CX-SO houve uma redução da porosidade total se comparada com as condições de uso do solo sob mata nativa (Figura 10), entretanto esta redução não pode ser associada a redução da macroporosidade e conseqüente aumento da micro para a camada de 0-5 cm, visto que nos dados apresentados a

CX-SO para esta profundidade (0-5) apresentou maior volume de macroporos e menor volume de microporos.

Em relação à porosidade de aeração, esta é a razão entre o volume de ar e o volume do solo, ou seja, o ar ocupa o espaço poroso do solo não ocupado pela água. Segundo Erickson (1982), citado por Klein & Libardi (2002), em revisão detalhada a respeito do assunto, citou vários autores e concluiu que, para a maioria das culturas, o valor mínimo em que a maioria das plantas desenvolve satisfatoriamente seu sistema radicular é quando a porcentagem de macroporos está acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No entanto, esses valores são apenas uma referência, pois a taxa de difusão de oxigênio no solo depende da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade do espaço poroso, dentre outros (Jong van Lier, 2001).

Considerando que a porosidade de aeração ocorre apenas nos macroporos (Figura 8) onde ocorre a circulação de ar, observa-se que, na área de coxilha sob mata nativa (CX-MN), esta macroporosidade ficou entre $0,12$ e $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para todas as profundidades analisadas, enquanto que na área de várzea sob mata nativa (VZ-MN) a macroporosidade ficou entre $0,17$ e $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as camadas de 0-10 cm. Nas camadas mais profundas para esta área, a macroporosidade foi em torno de $0,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 8). Com isso observa-se que a macroporosidade esteve superior ao limite crítico para CX-MN, já para VZ-MN, apenas na camada de 0-10 cm, e inferior ao limite crítico nas camadas mais profundas.

Para a CX-CN, CX-SO e VZ-AS a macroporosidade manteve-se acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) possivelmente garantindo uma taxa de difusão de oxigênio adequada para o desenvolvimento vegetal satisfatório (ZOU et al., 2000). Entretanto, na VZ-AS para a camada de 5-10 a macroporosidade manteve-se abaixo deste limite.

Para as camadas mais profundas de 10-30 cm a macroporosidade ficou abaixo do mínimo necessário de poros de aeração para a maioria das culturas (Figura 8), o que segundo Reichert, et al., (2003) poderia ocasionar problemas de deficiência de aeração ao sistema radicular das plantas, assim como implicar no aumento da densidade do solo, conforme observado por Blainski, (2010).

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por esta pesquisa indicaram modificações das propriedades físicas do solo influenciadas pelos diferentes usos da terra, principalmente pelo aumento da densidade do solo. Entretanto, estes valores de densidade na maioria dos usos do solo, exceto na várzea cultivada, segundo a literatura, não são suficientes para prejudicar o desenvolvimento das culturas.

As áreas de coxilha e várzea sob mata nativa apresentaram melhores condições físicas do solo, quando comparadas às áreas submetidos à ação antrópica.

Os valores de densidade do solo foram menores nas camadas superficiais (0-5 cm) quando comparados com as camadas mais profundas, em todos os tratamentos sob diferentes usos do solo, principalmente os sob mata nativa.

Para porosidade total, macro e microporosidade, as principais alterações foram diminuições na macroporosidade e porosidade total na CX-CN, CX-SO E VZ-AS. Comparando as profundidades, os sistemas CX-CN, CX-SO e VZ-AS mostraram menores valores de macroporosidade e maiores valores de microporosidade na profundidade de 5–10 cm.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos como este são importantes quanto ao aspecto imediato das modificações que podem surgir. No entanto, há necessidade de acompanhamento ao longo dos anos, o que nem sempre é possível em se tratando de propriedade particular e não destinada à pesquisa.

A profissão de gestor ambiental utiliza técnicas e conhecimentos para garantir o uso racional dos recursos naturais e a preservação da biodiversidade, visando planejar, desenvolver e executar projetos que visem à preservação do meio ambiente, analisando a poluição industrial do solo, da água e do ar e a exploração de recursos naturais e, com base nos dados coletados, elaborar estratégias para minimizar o impacto causado pelas atividades humanas.

Assim, o gestor ambiental ao atuar no planejamento ambiental, na exploração de recursos naturais de maneira sustentável e na recuperação e manejo de áreas degradadas é de suma importância para a conservação e uso adequado do recurso solo, por este ser a base para a sustentação da biodiversidade, da produção de alimentos e de fibras.

Verifica-se, assim, a importância deste profissional para trabalhar na gestão segura dos recursos naturais, assim como na análise e na interpretação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, utilizando-os como indicadores da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de plantas, Universidade Federal Viçosa, MG, 2008.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. 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**, Viçosa, v.24, p.857-865, 2000.

ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.

ARATANI, R. G. et al. Qualidade física de um Latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 677- 687, 2009.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., (Eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p. 123-141 (SSSA special publication 49).

ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

ASSISTAT – Statistical Assistance. Versão 7.7 Beta – Coordenação do Professor Dr. Francisco de Assis Santos e Silva. Campina- PB: Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2006.

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica do solo. In: SANTOS G. A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L, P.; CAAMARGO, F. A. O. (Eds.)

Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v. 58, p. 555-560, 2001.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 28, n. 01, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Science Agronomy**, v. 27, p. 193 – 198, 2005.

BLAINSK, E. et al. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 975-983, 2008.

BLAINSK, E. **Indicadores de qualidade física em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo** 2010. 105 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2010.

BRAIDA, J. A. **Acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de material orgânica no solo e suas implicações no comportamento mecânico do solo sob plantio direto.** 2004. 106 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2004.

CARMO, D. L. et al. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 991-998, jun., 2011.

CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um solo vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado.** 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia e Análise Ambiental, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W; J.; ARMANDO. M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39 p. 1153-1155, 2004.

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

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 997-1003, 1999.

COLLARES, G. L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade do feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.933-942, 2008.

CORRECHEL, V. **Densidade do solo: Influência da posição relativa à linha de plantio em dois sistemas de preparo do solo**.1998. 35 f. Dissertação (Mestrado), Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 527-535, mai./jun. 2003.

COSTA, J. B. da. **Caracterização e constituição do solo**. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

COSTA, A. et al. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura - pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.235-244, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA L. B.; MAGALHÃES A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n. 1-4, p. 1-7, Jan. / Dez., 2002.

DALAL, R. C.; CHAN, K. Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Aust. Journal Soil Research**, v. 39, n. 03, p. 435-464, 2001.

DEXTER, A. R. & YOUNGS, I. M. Soil physic toward 2000. **Soil & Tillage Research**, v. 24p. 101-106, 1992.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, n.3-4, p.199-238, 1988.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p. 25-37. (Special Publication, 49).

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

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In. **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**, 1982. Madison. Proceedings. American Society of Agronomy, 1982, p. 91-104.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

GODEFROY, J. & JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structural des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales; comparasion avec les sols forestiers. **Fruits**, v. 30, p.595-612, 1975.

HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the use fullness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 71-85, 2000.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298 f. Tese (Doutorado). Departamento de Ciencias da Navegación e da Terra. Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata nativa, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia - GO, v. 38, n. 2, p. 118-127, jun. 2008.

JONG van LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, SP, v.25, p. 233-238, 2001.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definitions, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, v.61, p. 4 -10, 1997.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.857-867, 2002.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2008. 240p.

LAURINDO, N. P. M. L. et al. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 17, n. 5, p. 367-374, setembro/ outubro. 2009.

LEMOS FILHO, L. C. A. et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.39, n. 02, p. 193-202, 2008.

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas: SBCS/ SNLCS, 1984. 45p.

MARTINS, G. C. et al. Campos Nativos a Matas Adjacentes da região de Humaitá (AM): Atributos diferenciados dos solos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.2, p. 221-227, mar./abr., 2006.

MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga**. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963–969, maio/jun. 2004.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

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

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 319 – 337, 1984.

PANDOLFI, F. et al. Alterações na porosidade total do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VI ENCONTRO LATINO AMERICANODE PÓS-GRADUAÇÃO, 11. 2007. **Anais...** Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos - SP, p.3412-3415, 2007. 1 CD-ROM.

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 49-134.

REINERT, D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RODRIGUES, M. F. et al. Propriedades físicas do solo em uma pequena bacia hidrográfica rural. In: VII REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 7°, 2010, Santa Maria - RS. **Anais eletrônicos...** Santa Maria- RS, 2010. Disponível em:< <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/>>. Acesso em: 24 fevereiro. 2014.

SANS, L. M. A. Avaliação da qualidade do solo. In: OLIVEIRA, T, S; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E; SILVA, J.EC. (Eds). **Agricultura sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza, UFRGS, SBCS, 2000. p.170 – 213.

SANTOS, R. dos. **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. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.

SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994, p. 660.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, mai./jun. 2004.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do Sul do Brasil**. 2007. 95 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

TORMENA, C. A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1028-1031, 2004.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solos. **Tópicos em Ciências do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, v.2, p. 195 – 276, 2002.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto - RS**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ZOU, C. et al. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, Ottawa, v.28, n.5, p.947-958, 2000.