

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**IMPACTO DO USO DA TERRA NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DO REBORDO DO
PLANALTO – RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jovani Zalamena

Santa Maria, RS, Brasil

2008

IMPACTO DO USO DA TERRA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DO REBORDO DO PLANALTO – RS.

por

Jovani Zalamena

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Santa Maria, RS, Brasil.

2008

Zalamena, Jovani

Z22i

Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto-RS / por Jovani Zalamena ; orientador Ricardo Simão Diniz Dalmolin. – Santa Maria, 2008.

79 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

1. Ciência do solo 2. Qualidade do solo 3. Sustentabilidade das terras 4. Degradação ambiental 5. Espectroscopia de RMN13C; 6. Qualidade da matéria orgânica I. Dalmolin, Ricardo Simão Diniz, orient. II. Título

CDU: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

**IMPACTO DO USO DA TERRA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DE SOLOS DO REBORDO DO PLANALTO – RS.**

elaborada por
Jovani Zalamena

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Ricardo Simão Diniz Dalmolin (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Prof. Dr. José Miguel Reichert (UFSM)

Dr. Fabrício de Araújo Pedron (UFSM)

Santa Maria, 29 de fevereiro de 2008.

Aos meus pais, Luiz Zalamena e Maria Golin Zalamena, que nunca mediram esforços e sempre apoiaram e confiaram na minha capacidade em buscar meus objetivos

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, força, coragem e sempre iluminando meu caminho.

Ao professor Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela orientação neste trabalho. Agradeço pela confiança depositada em meu trabalho, pela força e contribuição, principalmente nesta reta final que foi muito difícil, porém facilitada pela suas palavras de incentivo e apoio.

À minha irmã Janice, que foi a pessoa da família com quem convivi mais próximo nestes últimos anos e esteve sempre passando forças nos momentos difíceis. Obrigado mana.

Ao meu irmão Jair, cunhada Juliana e aos sobrinhos Paloma e Andrei que, mesmo a distância, estavam sempre presentes com palavras de conforto e incentivo.

Aos amigos e colegas de laboratório: Pablo Miguel, Paula Correia de Medeiros, Jessé Fink, André Dotto, Alessandro Rosa, Fabrício Pedron, Gean Bueno, Simone Minuzzi, Gabriel Fink, Alexandre ten Caten, Genuir Denega e Luis Eduardo Suzuki pelo grande auxílio nos trabalhos de campo, laboratório e pela amizade conquistada durante este período.

Aos Professores membros da banca, José Miguel Reichert e Fabrício de Araújo Pedron, que aceitaram em colaborar nesta avaliação final do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, que colaboraram para minha formação.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, que possibilitaram a realização do curso de mestrado e deste trabalho.

À CAPES, pela importante ajuda financeira por meio da bolsa de estudo.

Demais amigos do setor de Pedologia: Sidinei Sturmer, Juliana Lorensi Gonçalves, Fabio Pacheco Menezes, Gislaine Auzani, Everton, e Ana Paula Rovedder pela companhia, convivência e amizade.

Aos amigos Eduardo Giroto, Juliano Gomes, Otavio Rossato, Rodrigo Pizzani, Gean Lopes, Isabel Lago, Eloiza Lasta, Eliziane Benedeti, Mara Rubia, Roberta Schmatz, Jerônimo Prado, Diovane Moterle, Orcial Bortoloto, pelas conversas e apoio.

Aos demais amigos e colegas de mestrado e doutorado pelas trocas de informação e descontração.

Aos funcionários Flávio Vieira da Silva, Luiz Francisco Finamor, Tarcísio Uberti e Gladis Uberti, do Departamento de Solos, pela dedicação e pela competência com que realizam seus trabalhos.

Aos amigos do laboratório de física do solo: Flávio Fontinelli, Paulo Gubiani, Adão Corcini, Douglas Kaiser, David da Rosa e Vanderléia da Rosa, pelo auxílio prestado na determinação das análises físicas.

Ao Tim, Rose e Deivid Fiorin pela amizade conquistada.

Aos proprietários Senhor Luiz Carlos Facco e José Roberto Dotto, por disponibilizarem suas propriedades para realização das coletas de solo. E ao amigo Cláudio Fioreze, por ajudar nos contatos dos outros locais de coleta.

“A todos vocês, que fizeram parte de mais esta fase da minha vida e que, de uma outra forma contribuíram para esta conquista, meus sinceros agradecimentos”.

"Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende."

Leonardo da Vinci.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

IMPACTO DO USO DA TERRA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DO REBORDO DO PLANALTO – RS.

Autor: Jovani Zalamena

Orientador: Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Local e data da defesa: Santa Maria, 29 de Fevereiro de 2008.

As mudanças na utilização das terras podem levar à degradação da qualidade química e física do solo. Nas áreas de encosta do estado do Rio Grande do Sul (RS) a vulnerabilidade à degradação das terras é elevada, devido a combinação de relevo forte ondulado a montanhoso e solos com pequena profundidade efetiva. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar as características químicas e físicas do solo de áreas situadas no Rebordo do Planalto na região central do RS, sob diferentes usos da terra. Para isso foram selecionadas duas áreas representativas da região denominada Rebordo do Planalto, caracterizada por áreas de encosta com predomínio da agricultura familiar em pequena escala (Silveira Martins (SM) e São João do Polêsine (SJ)) e uma área de transição entre o Rebordo do Planalto e o Planalto Médio (Júlio de Castilhos (JC)). Em SM foram coletadas amostras de solo no sistema de plantio direto (PD), plantio convencional (PC), reflorestamento (RF) e mata nativa (MN). Em SJ foram coletadas amostras de solo sob os usos na mata nativa (MN), mata secundária (MS), lavoura velha (LV), lavoura nova (LN) e lavoura abandonada (LA). Em JC as amostras foram coletadas em áreas de mata nativa (MN), campo nativo (CN) e plantio direto (PD). As amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm. Através dos resultados obtidos, observaram-se modificações nas características químicas e físicas do solo em função dos diferentes usos da terra, ao comparar com a mata nativa. Em sistemas que não recebem adições constantes de fontes externas, ocorreu uma depressão da fertilidade química. A matéria orgânica do solo teve diminuição nos teores, conforme aumentou a intensidade de uso da terra. O grupo C-O-alquil foi o grupo de carbono que apresentou a maior contribuição nos espectros de RMN ^{13}C , independente do sistema de uso da terra. As principais alterações físicas ocorridas em comparação com as condições naturais do solo, foram diminuições da macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada e aumento na densidade do solo. Os parâmetros de agregação do solo, neste trabalho, não se mostraram como bons índices de avaliação para identificar mudanças em função dos diferentes usos da terra.

Palavras-chaves: Qualidade do solo; sustentabilidade das terras; degradação ambiental; espectroscopia de RMN ^{13}C ; qualidade da matéria orgânica.

ABSTRACT

Dissertation of Master's degree
Soil Science Graduate Program
Federal University of Santa Maria

LAND USE IMPACT ON SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL ATRIBUTES OF THE SUL-RIOGRANDENSE PLATEAU BORDER

Author: Jovani Zalamena

Advisor: Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 29th, 2008.

Changes in land use can take into soil chemical and physical quality degradation. In the hillside areas of the Rio Grande do Sul State (RS) land degradation vulnerability is elevated, due to the combination of a strong undulated to mountainous relief and shallow soils. The general purpose of this study was to evaluate the chemical and physical attributes of soils located in the Sul-riograndense Plateau Border under different land uses. Two representative sites of the Plateau Border, characterized by steep slope areas with prevalence of family farms, were selected (Silveira Martins county (SM) and São João do Polêsine county (SJ)), and also a transition area situated between the Plateau Border and the Medium Plateau (Júlio de Castilhos county (JC)). In SM soil samples were collected in areas of no-tillage (PD), tillage (PC), reforestation (RF) and native forest (MN). In SJ soil samples were collected under native forest (MN), secondary forest (MS), old cropping (LV), new cropping (LN) and abandoned cropping (LA) areas. In JC the samples were collected under native forest (MN), native prairie (CN) and no-tillage (PD) areas. Samples were collected from 0 to 10cm and from 10 to 20cm. Modifications were observed in soil chemical and physical attributes due to the different land uses when compared to the native forest. In systems that do not receive constant external additions, a decrease in soil chemical fertility was observed. Soil organic matter content decreased as the land use intensity increased. C-O-alkyl was the carbon group that presented the largest contribution in the spectra of ¹³C NMR, independent of the land use system. The main physical alterations observed were the decreases of soil macroporosity, total porosity and saturated hydraulic conductivity and the increase in soil density when compared to soil natural conditions. Soil aggregation parameters did not show to be good indexes to identify changes due to the land use in this study.

Key-words: soil quality, land sustainability, environmental degradation, ¹³C NMR spectroscopy, organic matter quality.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul (a) e detalhe dos diferentes locais onde foram coletadas as amostras de solos (b). Imagem do Google Earth.31
- FIGURA 2 - Difractogramas da fração argila em pó de amostras de solo (profundidade 0-10 cm) nos diferentes usos na área de Júlio de Castilhos. (Kt= caulinita; Qz= quartzo; Cr= cristobalita; Hm= hematita; MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto).....44
- FIGURA 3 - Difractogramas da fração argila em pó de amostras de solo (profundidade 0-10 cm) nos diferentes usos na área de Silveira Martins-RS. (Kt= caulinita; Qz= quartzo; Cr= cristobalita; Hm= hematita; MN= mata nativa; RF= reflorestamento; PD= plantio direto; PC= plantio convencional).46
- FIGURA 4 - Espectros de RMN ^{13}C CP/MAS adquiridos para matéria orgânica concentrada para os diferentes usos do solo, para os dois locais de coleta: a) Júlio de Castilhos; b) Silveira Martins. (MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto; RF= reflorestamento; PC= plantio convencional).49
- FIGURA 5 – Relação entre macroporosidade e densidade do solo (profundidade de 0-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.....57
- FIGURA 6 – Relação entre porosidade total e macroporosidade do solo (profundidade de 0-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.....57
- FIGURA 7 - Condutividade hidráulica do solo saturado ($K\theta_s$) nas profundidades de 0-10 (a) e 10-20 cm (b) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. (MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto; RF= reflorestamento; PC= plantio convencional).....59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características químicas do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso nas áreas de estudo.	40
TABELA 2 - Ferro ditonito (Fe_d), ferro oxalato (Fe_o), relação Fe_o/Fe_d do solo, nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm).	43
TABELA 3 - Teor de matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.	47
TABELA 4 - Contribuição dos diferentes grupos de carbono para a intensidade total adquirida do sinal de ^{13}C RMN CP/MAS dos grupos funcionais, índices A/O-A e A(%) dos solos (profundidade de 0-10cm) das áreas de Júlio de Castilhos e Silveira Martins.	50
TABELA 5 - Teor de carbono (C_s) e nitrogênio (N_s) total do solo, carbono (C_{MOS}) e nitrogênio (N_{MOS}) total da matéria orgânica concentrada, relação C/N do solo (C_s/N_s), relação C/N da fração matéria orgânica concentrada (C_{MOS} / N_{MOS}), fator de enriquecimento (FE), recuperação (Rec.) de C e N e índice R dos solos estudados, na profundidade de 0-10 cm.	52
TABELA 6 - Composição granulométrica e relação silte/argila do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo	53
TABELA 7 - Densidade do solo (D_s), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) do solos (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.	55
TABELA 8 - Diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA) e grau de flocculação (GF) do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.	61
TABELA 9 - Coeficientes de correlação linear simples entre o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) com os atributos do solo na profundidade de 0-20 cm nos sistemas de uso das áreas de estudo.	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Características químicas e físicas como indicadores de sustentabilidade das terras	16
2.2 Impacto dos diferentes usos da terra nas características químicas do solo.....	19
2.3 Impacto dos diferentes usos da terra na matéria orgânica do solo	22
2.4 Impacto dos diferentes usos da terra nas características físicas do solo	24
3. HIPÓTESE	27
4. OBJETIVO GERAL	28
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
6. MATERIAL E MÉTODOS	29
6.1 Caracterização das áreas de estudo	29
6.2 Coleta e preparo das amostras	31
6.3 Análises químicas e mineralógicas	32
6.4 Caracterização da matéria orgânica do solo	33
6.5 Análise granulométrica, teor de argila dispersa e relação silte/argila	35
6.6 Estabilidade de agregados	35
6.7 Condutividade hidráulica saturada, porosidade e densidade do solo.....	36
6.8 Análises estatísticas	37
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
7.1 Características químicas e mineralógicas	38
7.2 Características Físicas	52
8. CONCLUSÕES	67
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

O solo é um importante recurso natural que suporta a flora, a fauna, as atividades agropastoris, o armazenamento da água e as edificações do homem. O solo é considerado um componente vital para os agroecossistemas no qual ocorrem os processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas, e quando mal manejado pode degradar todo o ecossistema (STRECK et al., 2002), implicando em riscos ambientais com impacto negativo para as comunidades rurais e repercussão no meio urbano (REICHERT et al., 2003). Segundo DORAN & PARKIN (1994), o solo é o principal componente na manutenção da qualidade ambiental com efeitos em nível local, regional e mundial. O conceito de terra é diferente de solo. Segundo a FAO (1994), terra é um segmento da superfície do globo terrestre definido no espaço, compreendidas pelos atributos da biosfera envolvendo o clima, o solo, o relevo, o substrato geológico, a hidrologia, as populações de plantas e animais e assentamentos humanos, sendo resultado da interação passada e presente do homem com o meio ambiente.

A degradação das terras é freqüentemente induzida por atividades humanas. Os principais contribuintes para esses processos são as práticas agrícolas inadequadas, incluindo aí o pastoreio intensivo, a super-utilização com culturas anuais e o desmatamento (DE BIE et al., 1996). Após a remoção da vegetação natural, a degradação é acentuada com os cultivos subseqüentes, onde a remoção dos nutrientes e da matéria orgânica são maiores do que a reposição, até que em determinado momento inviabiliza a produção agrícola, caracterizando um estágio avançado da degradação (SOUZA & MELO, 2003). Segundo REICHERT et al., (2003), as operações agrícolas que envolvam mobilização e/ou tráfego de máquinas alteram substancialmente a estrutura dos solos, principalmente a agregação e a compactação, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. De acordo com SOUZA E ALVES (2003), a substituição da vegetação natural, por culturas agrícolas, provoca um desequilíbrio no ecossistema, já que o manejo adotado influenciará os processos físico-químicos e biológicos do solo, podendo modificar suas características e, muitas vezes, propiciando sua degradação. Todas as formas de agricultura causam mudanças no balanço e no

fluxo dos ecossistemas preexistentes, limitando dessa forma as suas funções de auto-regulação do ecossistema (SCHRÖDER et al., 2002).

Segundo KAMINSKI (2004), as mudanças de ação antrópicas, ocasionada pela atividade silvo-agro-pastoril, causam um aumento na ciclagem de substâncias de ocorrência natural promovendo a necessidade de introdução de substâncias sintéticas no ambiente e a eliminação da cobertura natural do solo afetando a diversidade biológica. Em função disso, a dinâmica da matéria orgânica pode ser modificada, alterando o fluxo de nutrientes e acelerando suas perdas para os ambientes aquáticos, contribuindo para eutroficação de lagos e rios.

As áreas de encosta do Estado do Rio Grande do Sul são vulneráveis à degradação da terra, devido à combinação de relevo forte ondulado a montanhoso e solos com pequena profundidade efetiva, além do uso inadequado da área. Mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo servem como indicadores de sustentabilidade da terra frente aos diferentes usos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características químicas e físicas como indicadores de sustentabilidade das terras

O uso do termo sustentabilidade tem sido muito utilizado, sempre com o enfoque de preocupação com os recursos naturais como solo e água, por exemplo. Estes recursos, utilizados de maneira racional, podem ter sua qualidade mantida por um longo período de tempo.

A sustentabilidade das terras é definida pela FAO (1991) como o sistema que envolve o manejo e a conservação dos recursos naturais, prevenindo a degradação do solo e da água, combinando tecnologias e atividades que integrem os princípios sócio-econômicos com a preocupação ambiental enquanto propiciam suporte necessário para a satisfação continuada das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Outra noção bem corrente de sustentabilidade defende a preservação dos recursos naturais com crescimento econômico (SILVA, 1998). Do ponto de vista ecológico, a concepção de agricultura sustentável, segundo RHEINHEIMER et al. (2003), deve buscar a convivência de práticas agrícolas e de preservação ambiental da paisagem e especialmente da biodiversidade e dos mananciais de água, diminuindo dessa forma os impactos negativos da agricultura na qualidade das águas.

O conceito de desenvolvimento sustentável fornece uma estrutura para a integração de políticas ambientais e estratégias de desenvolvimento, procurando atender as necessidades e aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de atendê-las no futuro, lembrando que sempre há o risco de que o crescimento econômico prejudique o meio ambiente, uma vez que ele aumenta a pressão sobre os recursos ambientais (SCHNEIDER, 2006). A substituição das áreas de florestas naturais, pelo uso agrícola de forma intensiva, torna os solos vulneráveis, com mudanças na sua estrutura e porosidade causando diminuição de infiltração e retenção de água nos solos. O uso inadequado dos solos associados à

adoção de pacotes tecnológicos sem preocupação ecológica, tornou a agricultura uma fonte de poluição difusa gerando um agroecossistema frágil e não sustentável (RHEINHEIMER et al., 2003).

Os indicadores da qualidade do solo, segundo ISLAM & WEIL (2000a), podem ser separados em três categorias: i) os *efêmeros*, que como exemplo pode-se citar a disponibilidade de nutrientes, a acidez e a compactação do solo, cujas alterações manifestam-se rapidamente no tempo de acordo com o tipo de manejo adotado; ii) os *intermediários*, tais como teor de carbono orgânico total, agregação e biomassa microbiana, que dependem da influência dos processos que ocorrem no solo; iii) e os *permanentes*, que estão mais relacionados com as próprias características do solo, como textura, profundidade e mineralogia. Esses autores relatam ainda que a qualidade ou condição do solo seja determinada por propriedades que não são tão permanentes, ao ponto de serem insensíveis ao manejo, nem tão facilmente modificáveis, ao ponto de darem pequena indicação de alterações em longo prazo.

De acordo com SPAGNOLLO (2004), a qualidade do solo pode ser diminuída pelas mudanças no uso da terra, especialmente o cultivo em áreas desflorestadas. A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, conforme SILVA et al. (2000), tem sido apresentada como uma opção para assegurar a sustentabilidade de uso agrícola dos Latossolos no Brasil. Para VEZZANI (2001) a sustentabilidade agrícola depende da manutenção da qualidade do solo ao longo do tempo.

Em trabalho sobre sustentabilidade de agroecossistemas sob Latossolo do Cerrado, ALVARENGA & DAVIDE (1999) compararam diferentes usos da terra como: culturas anuais, reflorestamento de eucalipto com um e 15 anos, pastagem plantada e pastagem nativa. Esses autores observaram que o agroecossistema de culturas anuais foi o que apresentou maiores alterações em relação ao cerrado nativo no que diz respeito às características físicas do solo, demonstrando, de maneira geral, uma degradação da sua qualidade. As mudanças negativas que ocorreram nesses solos, como diminuição da macroporosidade, porosidade total, agregados >2 mm e aumentos da microporosidade e da densidade do solo, vão alterar o fluxo de água e nutrientes no solo, atuando no desenvolvimento das culturas e no processo erosivo do solo. Tomando o cerrado nativo como referência, o sistema de culturas anuais foi o que apresentou a melhor condição de

sustentabilidade nutricional, devido ao aporte de nutrientes através da adubação em um solo de fertilidade natural muito baixa. Os demais sistemas têm efeito degradativo na concentração dos nutrientes essenciais.

Trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar na Nova Guiné, HARTEMINK (1998) encontrou que o uso do solo durante 17 anos com a cultura, provocou alterações em propriedades químicas e físicas do solo, indicando um sistema insustentável ao longo do tempo. Suas principais alterações foram diminuições nos teores de matéria orgânica (MO), fósforo, potássio, CTC (capacidade de troca de cátions) e aumento na densidade do solo.

Diferentes usos do solo em um Latossolo nos cerrados foram estudados por ARAÚJO et al. (2007), a fim de avaliar e comparar a qualidade do solo, utilizando atributos de natureza física, química e biológica. Para isso foi utilizado um modelo proposto por ISLAM & WEIL (2000b), com modificações, onde são atribuídas notas para as características químicas (MO e CTC), físicas (densidade do solo, resistência a penetração e taxa de infiltração de água no solo) e biológicas (carbono da biomassa microbiana e a respiração basal) utilizadas para compor o modelo. Todos esses parâmetros foram avaliados e comparados, em formas de diagramas, com os valores encontrados no cerrado nativo, que foi utilizado como referência por se tratar de um sistema sem histórico de perturbação antrópica. Os resultados deste estudo mostraram reduções da qualidade do solo de 46, 49, 61 e 77 % para os sistemas de uso pastagem natural (PN), florestamento de pinus (FP), pastagem plantada (PP) e cultivo convencional (CC), respectivamente, para a camada de 0 a 5 cm de profundidade, sendo que os indicadores físicos foram os que melhor refletiram essas diferenças de qualidade do solo entre as áreas avaliadas. Dessa forma, o índice de qualidade do solo, obtido a partir do diagrama comparativo, pode ser recomendável na avaliação de impactos ambientais, pois permitiu distinguir os ambientes sob diferentes usos.

Com o objetivo de avaliar a Qualidade do Solo (QS) como um indicador de sustentabilidade de agroecossistemas de base ecológica em duas propriedades agrícolas (A e B), CASALINHO et al. (2007) propuseram e aplicaram o Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS), desenvolvido a partir dos trabalhos de DORAN & PARKIN (1994), MASERA et al. (1999), ENSSLIN et al. (2001) e ANDREWS et al. (2002), a fim de se verificar o comportamento de um conjunto de indicadores frente a um determinado sistema de manejo, ao longo do

tempo. O princípio básico desse método está fundamentado na análise integrada de um conjunto mínimo de atributos físicos, químicos, biológicos e visuais do solo, indicadores de sua qualidade. Na propriedade A, onde a implantação do sistema de base ecológica ocorreu a partir de áreas que não haviam sofrido ação antrópica verificou-se uma melhoria da QS ao longo dos anos, com resultados superiores aos encontrados na vegetação nativa, a qual foi utilizada como referência. Na propriedade B, onde o agricultor implantou o sistema a partir de áreas já degradadas pelos longos anos de cultivo convencional, verificou-se uma tendência de recuperação da QS, porém, após 7 anos de implantação do sistema de base ecológica, os resultados ainda não tinham se aproximado aos da vegetação nativa. Segundo os autores, a melhoria na QS pode ser explicada, possivelmente, pela ação integrada e continuada das práticas agrícolas que constituem o sistema de manejo utilizado pelos agricultores, notadamente no que se refere ao uso constante e intensivo de diferentes tipos de adubos orgânicos e de biofertilizantes, associados à rotação de culturas, adubação verde, cultivos de cobertura e a supressão completa do uso de agrotóxicos, contribuindo, dessa forma, para uma atividade agrícola sustentável.

2.2 Impacto dos diferentes usos da terra nas características químicas do solo

A utilização de características químicas do solo para avaliar as mudanças ocorridas em função dos seus diferentes tipos de uso, já vem sendo utilizada há vários anos por diversos autores, a fim de identificar qual a melhor maneira de utilização do solo, sem que ocorram maiores impactos na natureza. Antes mesmo de o sistema plantio direto ser completamente difundido pelos agricultores, alguns pesquisadores já procuravam identificar qual seria o comportamento dos nutrientes no solo perante esta nova tecnologia que estava sendo implantada.

Em função da falta de informações que relatam a concentração de nutrientes em sistemas de preparo em que o solo é pouco revolvido, CENTURION et al. (1985) estudaram as variações na distribuição, acumulação e suprimento de nutrientes em diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja em um Latossolo Vermelho no cerrado. Eles identificaram que nos sistemas de preparo reduzido e de

semeadura direta, houve uma maior concentração de nutrientes na camada mais superficial do solo (0-10 cm), enquanto que no sistema de preparo convencional do solo houve uma distribuição mais uniforme na camada de 0-20 cm. BAYER & MIELNICZUK (1997) também encontraram valores semelhantes ao avaliarem métodos de preparo e sistemas de culturas. Além disso, eles concluíram que a utilização de sistemas de manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais por cinco anos foi capaz de promover melhorias na qualidade química do solo, indicando a sua viabilidade na recuperação de solos degradados, em médio prazo.

De um modo geral, a maioria dos trabalhos aponta para um aumento no teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e a CTC do solo na camada mais superficial do solo para o sistema plantio direto (PD) (BAYER & MIELNICZUK, 1997; SOUZA & ALVES, 2003; OLIVEIRA et al., 2004). O sistema de PD, por exemplo, recebe adições freqüentes de fertilizantes, em superfície, contendo esses elementos, que ali são mantidos. O comportamento do Ca e do Mg, segundo ALMEIDA et al. (2005), é mais variável nos sistemas de manejo do solo e parecem depender também do tipo de solo, seqüências de culturas, clima e diferenças na mobilidade intrínseca de cada elemento no solo. O maior teor de Ca e Mg em sistemas de culturas anuais podem ser em função da adição de calcário, à reciclagem de cálcio via decomposição de resíduos e ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada (SOUZA & ALVES, 2003).

O fósforo se concentra mais na parte superficial do solo devido à sua baixa mobilidade (CENTURION et al., 1985; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001). Segundo ALMEIDA et al. (2005), a maior concentração de P e K na superfície dos solos sob sistema PD deve-se, principalmente, ao modo de aplicação dos adubos dos dois sistemas. No PD, a distribuição ocorre a lanço ou incorporados na linha, próxima às sementes durante a semeadura, concentrando assim esse nutriente nas camadas mais superficiais do solo. No preparo convencional eles são incorporados antes de cada semeadura e homogeneizados na camada arável do solo, neste caso favorecendo até mesmo a lixiviação desses nutrientes.

RHEINHEIMER & ANGHINONI (2001) encontraram maiores valores de P total nos Latossolos, em função da riqueza do seu substrato de origem (basalto), quando comparada com um Argissolo, de origem arenítica. Ao comparar sistemas de manejo do solo, os autores encontraram um maior acúmulo de P total na camada superficial

do solo no PD, do que no cultivo convencional, justificado pelas menores perdas por erosão no plantio direto e pela reciclagem proporcionada pelas plantas, as quais absorvem o P disponível de camadas mais profundas, deixando-o na superfície, quando da decomposição dos seus resíduos.

O sistema de PD indica uma tendência de apresentar menores valores médios de saturação de alumínio nos primeiros 5 cm do solo, crescendo a partir daí, a níveis superiores aos demais sistemas analisados por CENTURION et al. (1985). BAYER & MIELNICZUK (1997) não encontraram diferenças entre os métodos de preparo do solo no teor de alumínio, mas encontraram maiores teores em profundidade.

Nos sistemas que envolvem culturas anuais, tanto em sistemas de plantio convencional quanto no PD, são encontrados maiores valores de pH do solo, quando comparado com mata ou campo nativo. Esse aumento ocorre em função da adição de calcário ao solo (PRADO & NATALE, 2003) e concentrar-se-á na camada superficial, se não for incorporado ao solo. Os Argissolos e Latossolos naturalmente apresentam limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio (STRECK et al., 2002).

Os solos sob cerrado possuem limitações químicas que impedem ou desfavorecem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais. Trabalhando sob Latossolos daquela região, ALVARENGA & DAVIDE (1999) verificaram que a utilização com reflorestamento de eucalipto com um ano e com 15 anos provocou diminuições significativas, em relação ao cerrado nativo, nos teores de nutrientes, principalmente em Ca, K, Mn e saturação por bases, evidenciando que a ocupação dessas áreas com sistemas agrícolas que não recebem nutrientes de fontes externas resulta numa deterioração química desses solos. Também em solos sob cerrado, ARAÚJO et al. (2007) encontraram menores valores de CTC na camada de 0-5 cm nas áreas utilizadas com pastagem plantada e com florestamento de pinus implantado há 20 anos, ao comparar com o cerrado nativo. Em trabalho realizado por SOUZA & ALVES (2003), foi identificado que a utilização do solo com pastagem e também com seringueira por mais de 16 anos, não aumentou os valores de P, K, Ca e Mg em relação ao cerrado nativo. Vindo a confirmar, então, a dificuldade que existe para melhoria das características químicas em sistemas de uso do solo que não recebem adições externas de produtos a base desses nutrientes.

2.3 Impacto dos diferentes usos da terra na matéria orgânica do solo

A matéria orgânica (MO) é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT et al., 2003). CONCEIÇÃO et al. (2005) consideraram a MO como um eficiente indicador para discriminar a qualidade do solo induzida por sistemas de manejo. Em sistemas agrícolas, segundo LEITE (2003), a dinâmica da MO, além de ser influenciada pelo manejo de culturas e preparo do solo, também é influenciada pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo.

Um papel muito importante da MO é na formação dos agregados do solo. Após a aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica apresenta importância fundamental como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados (BAYER & MIELNICZUK, 1999). Dessa forma, sistemas agrícolas que adotam menor revolvimento do solo e alta taxa de adição de resíduos podem deter o declínio da qualidade estrutural de solos cultivados, bem como promover a recuperação daqueles já degradados (PALADINI & MIELNICZUK, 1991).

Estudando o efeito do sistema convencional de uso do solo nas alterações de suas propriedades físicas, MACHADO et al. (1981) encontraram reduções no teor de MO a partir do quarto ano de cultivo do solo, aumentando as alterações à medida que aumenta o tempo de uso sob o sistema convencional. De acordo com BERTOL et al. (2001), o sistema de preparo convencional, em geral, promove um intenso revolvimento do solo na camada superficial, podendo favorecer a decomposição da matéria orgânica e, em função disso, ocasionar um efeito prejudicial considerável na qualidade estrutural do solo.

Na região das Encostas Basálticas, município de Teutônia-RS, as perdas de matéria orgânica por erosão, em plantio convencional, são ainda mais consideradas em função do relevo declivoso (BAYER & SCHENEIDER, 1999). Mas segundo esses autores, a substituição das lavouras de plantio convencional pelo plantio direto ou campo nativo, resultou numa recuperação dos teores de MO, provavelmente devido às menores perdas por erosão e redução da taxa de decomposição da matéria orgânica. PERIN et al. (2003) encontraram uma diminuição nos teores de

MOS com o tempo de uso agrícola quando comparado com solos de florestas. Quando comparado com áreas de campo nativo, o uso agrícola promoveu acréscimos nos teores. Isso confirma que, em ambientes com maiores produções de matéria seca, onde originalmente o teor de MO é mais elevado, a taxa de decomposição da MO pela incorporação do solo ao uso agrícola é maior.

Em um trabalho realizado por SOUZA & ALVES (2003), os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo apresentaram maiores contribuições à qualidade do solo, uma vez que, além da melhoria nas condições químicas do solo, a MO se manteve em níveis similares às do sistema natural. De uma maneira geral, quando a comparação dos teores de MO é feita entre sistema de plantio direto com o sistema convencional, vários trabalhos apontam uma melhoria nos teores de MO para o sistema de plantio direto, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1997; SOUZA & ALVES, 2003; ALMEIDA et al., 2005).

Além da quantidade, conforme relatado anteriormente, ocorre também uma diminuição da qualidade da MO em sistemas de cultivo que utilizam intensa mobilização do solo (SPAGNOLLO, 2004). Para definir práticas de manejo a fim de melhorar o uso sustentável da terra, WANG et al. (2003) menciona a importância do conhecimento das características da matéria orgânica do solo. As mudanças nessas características ou na qualidade da MO podem ser investigadas utilizando espectroscopia de ressonância magnética nuclear do ^{13}C no estado sólido com polarização cruzada e ângulo mágico de spin (RMN ^{13}C CP/MAS) (PRESTON, 1996). Esta é uma técnica que, segundo BAYER et al. (1999) tem sido utilizada no Brasil principalmente para avaliar a qualidade da MO em diferentes sistemas de manejo e, essa caracterização qualitativa da MOS é feita pela identificação e quantificação dos grupos funcionais.

A técnica de RMN ^{13}C foi utilizada por CERETTA (1995) para avaliar o efeito de sistemas de culturas (milho+guandu; aveia+vica/milho+caupi; aveia/milho), em plantio direto, sobre os ácidos húmicos extraídos da camada de 0-2,5 cm de um Argissolo no Sul do Brasil. Nesse trabalho, a análise por RMN ^{13}C permitiu discriminar os sistemas de culturas, em relação ao solo descoberto, especialmente quanto à porcentagem de carbono aromático, carbono alifático e aromaticidade. Porém, essas diferenças não foram muito consistentes na qualidade dos ácidos húmicos, quando a comparação ocorreu apenas entre os sistemas de culturas. Também utilizada por DALMOLIN (2002), essa técnica possibilitou identificar

variações na aromaticidade da MO ao longo de perfis de Latossolos no Rio Grande do Sul, atribuindo essa variação ao clima. QUIDEAU et al. (2001) conseguiram identificar, através de RMN ^{13}C , que mudanças ocorridas na composição da MO ocorreram em função da variação da vegetação, ao estudarem solos na Califórnia.

Mais recentemente, CANELLAS et al. (2007) avaliaram o estoque de C e a qualidade da MO de um Cambissolo cultivado por longo tempo sob diferentes manejos da cana-de-açúcar por meio da técnica de RMN ^{13}C no estado sólido. Esses autores encontraram um aumento no grau de aromaticidade da MO, indicando mudanças significativas na humificação da MO com a preservação do palhicho sobre a cobertura do solo por longo tempo.

2.4 Impacto dos diferentes usos da terra nas características físicas do solo

Segundo REYNOLDS et al. (2002), um solo agrícola com boa qualidade física é aquele que é “forte” para manter uma boa estrutura, resistente à erosão e à compactação, mas também deve ser “fraco” o suficiente para permitir o crescimento radicular e a proliferação da flora e fauna do solo. De acordo com REICHERT et al. (2003), a qualidade do solo do ponto de vista físico está associada aquele solo que: i) permite a infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, córregos e subsuperfícies; ii) responde ao manejo e resiste à degradação; iii) permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e iv) possibilita o crescimento das raízes.

A degradação das características físicas do solo, segundo BERTOL et al. (2001), é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, sendo que essas alterações podem se manifestar de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. O monitoramento da qualidade do solo mediante avaliação das características físicas é necessário, tendo em vista da importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SILVA et al., 2005a).

Diversos estudos realizados apontam as mudanças ocorridas nas características físicas do solo em função do sistema de uso e manejo dos solos. Em trabalho realizado no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, MACHADO et al. (1981)

estudaram o efeito do sistema convencional de uso do solo nas alterações de suas características físicas. As maiores mudanças ocorreram a partir do quarto ano de cultivo do solo, aumentando essas alterações à medida que aumentou o tempo de uso sob o sistema convencional. As maiores mudanças foram reduções da porosidade total e da macroporosidade e aumentos na microporosidade e na densidade do solo.

Ao analisar características físicas em diversos solos de Santa Catarina, ANJOS et al. (1994) encontraram, em Latossolo e Cambissolos, maiores valores de densidade do solo nos sistemas de plantio direto e cultivo convencional, em comparação com a mata nativa. Em função dessa elevação na densidade do solo, a condutividade hidráulica do Cambissolo Bruno teve seus valores diminuídos no cultivo convencional.

Na região Centro-Oeste do Brasil, as áreas sob vegetação de cerrado estão sendo gradativamente substituídas por culturas anuais, pastagens e reflorestamentos (CAVENAGE et al., 1999). Em trabalho realizado por esses mesmos autores, em Latossolo na região do cerrado, encontraram que, de modo geral, todas as condições de uso (pinus, pastagem, eucalipto, milho e mata ciliar) alteraram as propriedades físicas em comparação com a vegetação do cerrado nativo. Mas dentre as culturas, a mata ciliar e o pinus foram as culturas mais promissoras na recuperação nas condições de macroporosidade do solo. Outros autores também usaram a porosidade e a densidade do solo para comparar diferentes sistemas de uso e manejo dos solos (CUNHA, 2001; ASSIS e LANÇAS, 2005; ARAÚJO et al., 2007).

Analisando modificações das características físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido em um Argissolo sob sistema de plantio direto, STRECK et al. (2004) verificaram um aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e da macroporosidade, sem afetar a microporosidade do solo. Conforme SUZUKI et al. (2007), o aumento do grau de compactação leva a redução linear da macroporosidade e da condutividade hidráulica de solo saturado.

Outro parâmetro físico muito utilizado, para verificar as alterações, impactos, ou mudanças ocorridas no solo em função dos seus diferentes usos é a estrutura ou agregação do solo. De acordo com AZEVEDO & BONUMÁ (2004), agregados são os aglomerados de partículas desde o tamanho argila (iguais ou menores de 2 micrômetros) até maiores que areia (maiores que 2000 micrômetros). Segundo

KEMPER & CHEPIL (1965), para determinar o estado de agregação, podem ser usados como parâmetros o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e a estabilidade de agregados (EA). O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes, o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe dos agregados de maior ocorrência e o EA representa o quanto da massa de agregados do solo por classe se modifica pela lavagem em água a partir da distribuição inicial a seco.

Analisando um Latossolo na região dos cerrados no Sul de Goiás, D'ANDRÉA et al. (2002) elegeram o DMG e as percentagens de agregados > 2 mm e $< 0,25$ mm como um bom parâmetro a ser avaliado para indicar as alterações ocorridas em decorrência dos diferentes usos do solo (pastagem, plantio direto irrigado e plantio convencional irrigado), em relação ao cerrado nativo e sugerem, ainda, que esses parâmetros possam ser utilizados na elaboração de um índice de qualidade do solo para a região estudada.

Em um trabalho realizado por COSTA et al. (2003), em um Latossolo Bruno no Estado do Paraná, foi identificado um aumento nos valores de DMG no sistema plantio direto comparado com o convencional, devido ao efeito positivo do não revolvimento do solo e ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície, aumentando a estabilidade de agregados. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2000), ao avaliarem a qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho. Eles encontraram os maiores valores de DMG e de agregados maiores que 2,00 mm, no solo sob o sistema direto se comparado com o convencional, para a camada superficial do solo (0-20 cm).

SILVA et al. (2006), trabalhando com um Argissolo Vermelho, identificaram que o sistema de plantio direto aumentou a estabilidade de agregados da camada superficial do solo em relação ao preparo convencional. Segundo WOHLBERG et al. (2004), sistemas de cultivo que aportam materiais orgânicos e cobrem o solo durante todo o ano melhoram a estabilidade e a distribuição de agregados maiores no solo.

A condutividade hidráulica do solo saturado, segundo ASSIS & LANÇAS (2005), é considerada um dado de grande utilidade na diferenciação dos efeitos de sistemas de preparo na movimentação de água no perfil. Esses autores, trabalhando com Nitossolo Vermelho em sistema de plantio direto há 12 anos, encontraram resultados de condutividade hidráulica muito semelhante com os valores

encontrados na mata nativa, porém muito maiores que os sistemas de plantio convencional e plantio direto com menor tempo de implantação. SILVA et al. (2005b) encontraram teores muito superiores no plantio convencional se comparado com o plantio direto, na camada de 0-17,5 cm, possivelmente em função da mobilização do solo que tende a aumentar os macroporos.

Nos últimos anos a maior parte das pesquisas relacionando características físicas e químicas do solo em diferentes sistemas de manejo, está sendo desenvolvida em solos com relevo plano, bem desenvolvido, onde se dispõem de uma agricultura predominantemente mecanizada. Mais recentemente alguns trabalhos foram desenvolvidos em áreas com agricultura familiar, especificamente em microbacias localizadas na Região Central do Rio Grande do Sul, estudando a dinâmica do fósforo nos cursos d'água e sua relação com os sedimentos oriundos de diferentes condições de uso do solo (PELLEGRINI, 2005), concentração de nitrato na solução do solo, sob diferentes condições de uso e manejo com a cultura do fumo (KAISER, 2006) e ênfase na erosão do solo, com medições da produção de sedimentos em suspensão a fim de avaliar a (in)sustentabilidade de agroecossistemas intensamente explorados com a cultura do fumo (SEQUINATTO, 2007).

Embora existam alguns trabalhos, ainda são necessários estudos, enfocando mais especificamente as conseqüências do uso das terras nas características físicas e químicas dos solos nas áreas de encosta de Estado do Rio Grande do Sul onde predomina agricultura familiar.

3. HIPÓTESE

Os diferentes usos das terras cultivadas com agricultura familiar, em áreas de encosta, localizadas no Rebordo do Planalto - RS, alteram as características químicas e físicas do solo, sendo que seu uso inadequado leva a degradação da sua qualidade química e física.

4. OBJETIVO GERAL

Avaliar as características químicas e físicas do solo de áreas situadas no Rebordo do Planalto na Região Central do RS sob diferentes usos da terra.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características químicas do solo em diferentes usos da terra.
- Caracterizar a composição mineralógica da fração argila em diferentes usos da terra.
- Avaliar a composição semiquantitativa dos grupos de carbono da matéria orgânica do solo, determinados por espectroscopia de RMN ^{13}C em diferentes usos da terra.
- Analisar a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade, condutividade hidráulica e agregação do solo em diferentes usos da terra.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Caracterização das áreas de estudo

Foram selecionadas duas áreas representativas da região denominada Rebordo do Planalto, caracterizada por ambientes de encosta com predomínio da agricultura familiar (Silveira Martins e São João do Polêsine) e uma área de transição entre o Rebordo do Planalto e o Planalto Médio (Júlio de Castilhos) do estado do Rio Grande do Sul, conforme Figura 1.

Área 1. Júlio de Castilhos (JC)

A área de JC apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 29°18'01"S e 53°40'20"W, com altitude de 490 m e clima classificado como "Cfa", segundo o sistema de Köppen, com precipitação média anual de 1575 mm e temperatura média de 18°C (IPAGRO, 1989). Nesta área predominam Argissolos Vermelhos, profundos e bem drenados, de textura média e relevo suave ondulado a ondulado. Foram escolhidas diferentes classes de uso da terra: (a) Mata nativa (MN), que foi utilizado como testemunha por se tratar de um sistema em equilíbrio e sem histórico de intervenção humana; (b) Campo nativo (CN), no qual ocorre pastoreio de bovinos com baixa intervenção humana; e (c) agricultura no sistema de plantio direto (PD), neste local considerado o sistema de máxima intervenção humana. A área de PD foi implantada há 9 anos onde anteriormente era utilizada com agricultura no sistema convencional. Realizou-se a correção da acidez do solo com aplicação de calcário antes da implantação do PD. O sistema obedece a uma sucessão cultural com as culturas da soja (*Glycine max*) no verão, e aveia (*Avena strigosa*) ou azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno. Nos últimos dois anos, durante o inverno, utilizaram-se essas gramíneas para pastoreio animal de baixa intensidade a fim de manter uma quantidade considerável de cobertura vegetal.

Área 2. Silveira Martins (SM)

A área de SM apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 29°38'52"S e 53°34'50"W, com altitude média de 430 m, clima Cfa e precipitação média anual de 1708 mm e temperatura média anual de 19,2°C (IPAGRO, 1989). Na área predominam Nitossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos com relevo suave ondulado a ondulado. Neste local os solos foram coletados nas seguintes classes de uso do solo (a) MN, como testemunha; (b) Reflorestamento (RF) com Eucalyptus com 12 anos de idade. Antes da implantação do RF, a área era cultivada com as culturas da soja, milho e batata pelo sistema convencional de preparo do solo; (c) PD instalado há 4 anos onde anteriormente a área era cultivada intensamente com a cultura da batata pelo sistema convencional de preparo do solo. Atualmente faz rotação com a cultura da soja no verão e pastagem com azevém no inverno; e (d) Agricultura com plantio convencional (PC), que representa o uso mais intensivo de utilização de solos nesta área.

Área 3. São João do Polêsine (SJ)

A área SJ apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 29°40'10"S e 53°30'08"W, com altitude média de 240 m e clima semelhante à área SM. Nesta área de encosta, o relevo regional é forte ondulado a montanhoso e o relevo local (onde as amostras foram coletadas) é caracterizado como ondulado. Os solos comuns na área são Argissolos, Nitossolos, Cambissolos e Neossolos. Nesta área os solos foram coletados nas classes de usos (a) MN como testemunha; (b) Mata secundária (MS) caracterizada pela presença de vegetação arbustiva de médio porte com aproximadamente 20 anos sem intervenção humana; (c) Lavoura abandonada (LA) onde por 20 anos esta área foi cultivada com milho, pelo sistema convencional de preparo do solo com tração animal, estando abandonada (sem cultivo agrícola) nos últimos 6 anos; (d) Lavoura nova (LN) cujo histórico retrata a utilização durante 20 anos com a cultura do milho, com sistema convencional de preparo do solo com tração animal. Após este período a área ficou abandonada por cinco anos, incentivando o surgimento de vegetações espontâneas de baixo porte, sendo que no momento da coleta das amostras havia implantada na área há um ano a cultura da cana-de-açúcar, com a finalidade de consumo animal na propriedade; e (e) Lavoura velha (LV), com histórico semelhante a LN, com a diferença de estar sendo cultivada com cana-de-açúcar nestes seis últimos anos.

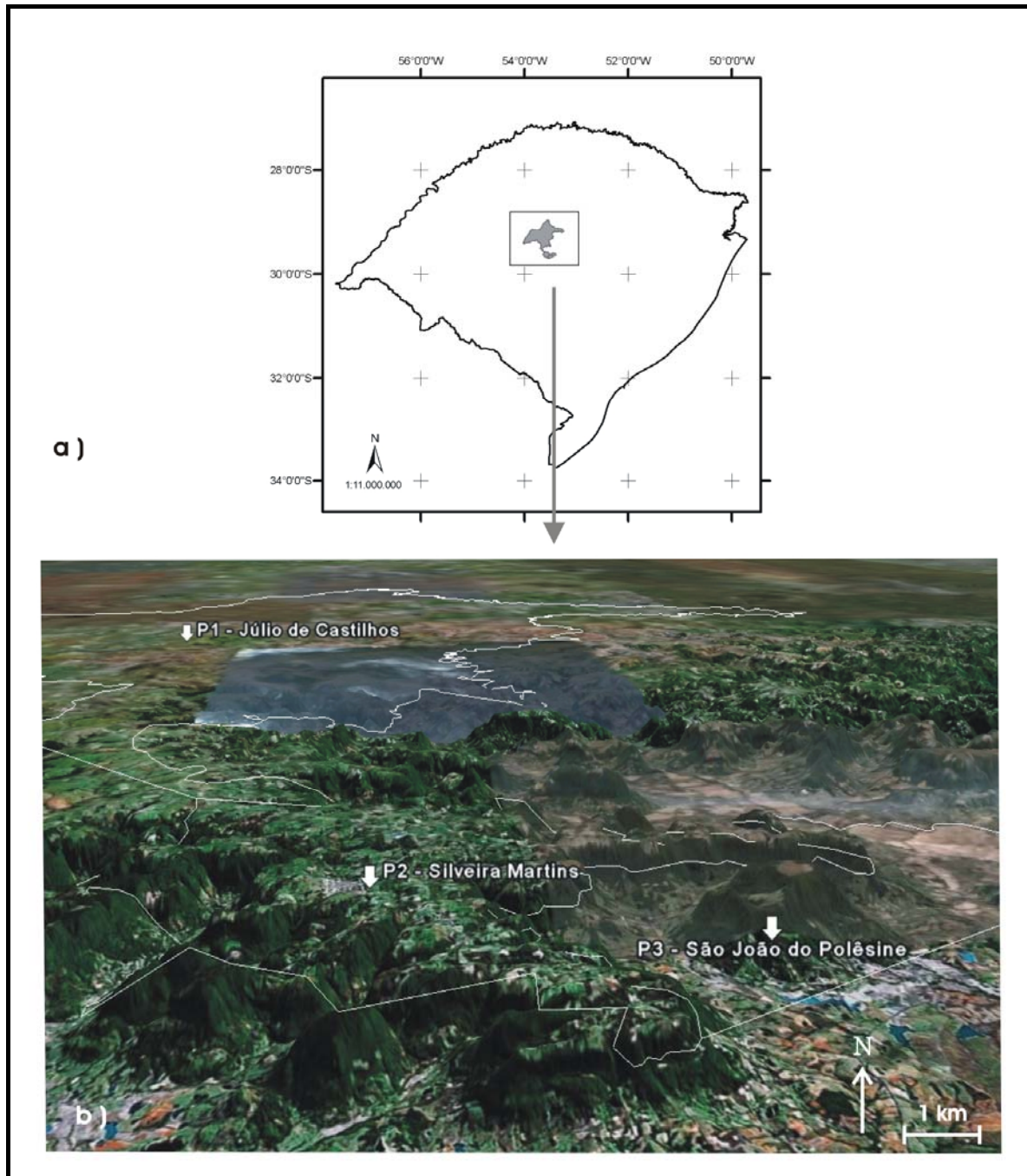


Figura 1 – Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul (a) e detalhe dos diferentes locais onde foram coletadas as amostras de solos (b). Imagem do Google Earth.

6.2 Coleta e preparo das amostras

Em cada classe de uso foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0-10 cm e na profundidade de 10-20 cm, com três repetições. Cada repetição foi

composta de 3 sub-amostras coletadas ao acaso dentro de uma área de 100 m², conforme sugestão de BEWKET & STROOSNIJDER (2003). Utilizou-se o seguinte procedimento: i) coleta com cilindros de Uhland, para determinação da condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, micro, macro e porosidade total do solo; ii) coleta com a pá-de-corte exclusivamente para determinação de agregados do solo; e iii) coleta com a pá-de-corte para análises químicas, mineralógicas e granulométricas.

As amostras de solo após a coleta foram secas ao ar, destorroadas, moídas e peneiradas para separar a fração menor que 2 mm, caracterizando a fração Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Utilizou-se TFSA para análise granulométrica para as análises químicas, mineralógicas e caracterização da matéria orgânica do solo.

6.3 Análises químicas e mineralógicas

As análises químicas: pH do solo em água (pH_{H2O}) foi determinado utilizando a relação solo-solução de 1:2,5. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectroscopia de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L⁻¹. O K⁺ trocável foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ e seu teor determinado por fotometria de chama; a acidez trocável (H⁺ + Al³⁺) foi determinado em extrato de Ca(OAC) 1,0 mol L⁻¹ a pH 7,0 e titulado com NaOH 0,0606 mol L⁻¹. O Al³⁺ trocável foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O fósforo disponível foi extraído com solução HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ e determinado por colorimetria. As análises seguem a metodologia de TEDESCO (1995). Foram calculadas a CTC a pH 7,0 (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + H⁺ + Al³⁺), saturação por alumínio (Al%=Al.100/S+Al) e a saturação por bases (V%=S.100/CTCpH7).

O teor de ferro dos óxidos de ferro (Fe_d) foi obtido pela extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio a quente (MEHRA & JACKSON, 1960). Enquanto o teor de ferro dos óxidos de baixa cristalinidade (Fe_o) foi obtido pela extração em solução ácida de oxalato de amônio no escuro (SCHWERTMANN, 1964). Os teores de Fe foram determinados no extrato pelo espectrofotômetro de absorção atômica (EMBRAPA, 1997).

Para a caracterização mineralógica utilizaram-se amostras de JC e SM na profundidade de 0 – 10 cm. A fração argila foi separada por dispersão com NaOH (6%) e coletada com pipeta a partir de um tempo necessário para sedimentação da fração silte (EMBRAPA, 1997). Este tempo de sedimentação é determinado segundo a lei de Stokes, que leva em conta a temperatura e o tamanho da partícula, conforme descrito em HILLEL (1998). As amostras foram floculadas com HCl 1 mol L⁻¹, separada do sobrenadante, lavadas sucessivamente com álcool etílico para eliminação do excesso de sais e colocadas para secar em estufa a 40 °C. As amostras em pó foram submetidas a difração de raios-X, em um aparelho Philips PW, com radiação de cobalto-K α , com tensão de aceleração de 35 kW e corrente de 25 mA, irradiadas no intervalo de 5 a 55° 2 θ , com velocidade de varredura de 0.02° 2 θ /5 segundos. A identificação dos minerais da fração argila foi realizada tendo como base os princípios estabelecidos por BRINDLEY & BROWN (1980) e RESENDE et al. (2005).

Os teores de carbono (C_S) e nitrogênio (N_S) do solo e os teores de carbono (C_{MOC}) e nitrogênio (N_{MOC}) da fração matéria orgânica concentrada (MOC) foram determinados por combustão seca, utilizando-se um analisador Elementar EL. A partir desses dados, calculou-se a relação C/N do solo (C/N_S) e a relação C/N da fração matéria orgânica concentrada (C/N_{MOC}).

6.4 Caracterização da matéria orgânica do solo

Para obtenção dos espectros de RMN ¹³C, realizou-se a concentração da matéria orgânica do solo, utilizando ácido fluorídrico (HF) 10%, conforme sugestão apresentada SCHMIDT et al. (1997). Para isso, foram colocados 20 g de solo em tubos plásticos de centrífuga e adicionado 60ml de HF 10%, agitando-se a suspensão por 2 horas em agitador horizontal. Após, foi realizada a centrifugação das amostras por 10 minutos a 3000 rpm e eliminação do sobrenadante. Esta operação foi realizada oito vezes consecutivas, sendo que no final, o resíduo remanescente (Matéria Orgânica Concentrada) foi lavado quatro vezes com água destilada para eliminação do HF. As análises de espectroscopia de RMN ¹³C

CP/MAS da MOC foram realizadas de acordo com SCHAEFER & STEJSKAL (1976), utilizando-se um espectrômetro BRUCKER DSX 200.

Os espectros foram plotados entre -50 e 250 ppm, conforme proposição apresentada por KNICKER et al (1996).

A partir dos dados de RMN ^{13}C foram calculados:

1) Razão A/O-A proposto por BALDOCK et al. (1997), obtida pela expressão:

$$A/O - A = \frac{\text{áreaC} - \text{alquil}}{\text{áreaC} - O - \text{alquil}}$$

2) Índice de aromaticidade (A%) proposto por STEVENSON (1994), obtido pela expressão:

$$A\% = \left[\frac{\text{área} \cdot \text{do} \cdot \text{espectro} 110 - 160 \text{ ppm}}{\text{área} \cdot \text{do} \cdot \text{espectro} 0 - 160 \text{ ppm}} \right] \times 100$$

Para determinar o fator de enriquecimento (FE) da MOS após tratamento com HF 10%, foi utilizada a seguinte razão:

$$FE = \frac{i_{MOS}}{i_S}$$

Onde: i_{MOS} corresponde ao teor de C_{MOS} (ou N_{MOS}) e i_S corresponde ao teor de C_S ou (N_S)

Para quantificar a recuperação de C e N (Rec%) nas amostras utilizou-se a expressão:

$$Rec\% = \text{Massa Recuperada} \times \left(\frac{i_{MOS}}{i_S} \right)$$

Onde a massa recuperada corresponde a porcentagem da massa da MOS.

As possíveis alterações do material orgânico, causadas pelo tratamento com HF 10%, foram monitoradas utilizando-se o índice R proposto por SCHMIDT et al. (1997). Este índice é definido através da seguinte expressão:

$$R = \left[\frac{\frac{C}{N_S}}{\frac{C}{N_{MOS}}} \right]$$

Onde: C/N_S corresponde a relação C/N do solo e C/N_{MOS} corresponde a relação C/N da matéria orgânica concentrada.

Os teores de carbono (C_s) e nitrogênio (N_s) do solo e os teores de carbono (C_{MOS}) e nitrogênio (N_{MOS}) da fração matéria orgânica concentrada foram determinados por combustão seca.

6.5 Análise granulométrica, teor de argila dispersa e relação silte/argila

A análise granulométrica foi determinada após dispersão com NaOH 1 mol L^{-1} , agitação mecânica horizontal por 4 horas e peneiramento úmido obtendo-se a fração areia. A argila foi obtida por sedimentação pelo método da pipeta (EMBRAPA 1997) e o silte por diferença. Para determinação da argila dispersa (natural), seguiu-se a mesma metodologia descrita acima, mas sem a utilização do hidróxido de sódio (NaOH) como agente dispersante. A relação silte/argila e o grau de flocculação ($[(\text{argila total} - \text{argila natural}) \cdot 100] / \text{argila total}$) foram calculados conforme EMBRAPA (1997).

6.6 Estabilidade de agregados

As amostras com estrutura preservada foram manipuladas manualmente em laboratório para separar os agregados. Os agregados passaram por uma peneira de malha 8,00 mm e em seguida foram secas ao ar e armazenadas em sacos plásticos devidamente fechados, a fim de evitar a oscilação da umidade, e armazenados em prateleiras horizontais para preservar a estrutura dos agregados. Para determinação da distribuição dos agregados, utilizaram-se os agregados que passaram pela peneira de 8 mm e empregou-se o método de Kemper modificado. As amostras foram pesadas (35 g) em triplicatas, sendo que uma delas foi levada à estufa a 105°C para determinar o peso seco. As outras duas amostras foram colocadas, separadas, em um conjunto de peneiras com malhas de 4,76; 2,00; 1,00; e 0,21 mm, sobrepostas nessa ordem. Após permitir o umedecimento por capilaridade (água na malha da peneira), a peneira foi introduzida lentamente na água, permanecendo por 10 minutos nesta condição. Em seguida essas amostras foram colocadas sob

agitação vertical também por 10 minutos e quantificado quanto ficou retido em cada peneira e o que passou pela última peneira (<0,21 mm), obtendo-se 5 classes de agregados, cujos diâmetros médios eram, respectivamente, 6,38 – 3,38 – 1,5 – 0,605 – 0,105 mm. Os agregados da classe menor que 0,21 mm foram calculados pela diferença, tomando-se o peso inicial da amostra menos a umidade residual e o peso das demais classes.

Os resultados foram expressos pelo diâmetro médio ponderado a úmido (DMP) e pelo Índice de estabilidade e agregados (IEA) conforme as equações abaixo.

$$DMP = \left[\frac{\sum_{i=1}^n DMi \times (MAGRi - mi)}{\sum_{i=1}^n (MAGRi - mi)} \right] \quad \quad \quad DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln DMi \times (MAGRi - mi)}{\sum_{i=1}^n (MAGRi - mi)} \right]$$

$$IEA = \frac{DMGs}{DMGu}$$

Onde: DMPs e DMPu = diâmetro médio ponderado seco e úmido, respectivamente; DMi = diâmetro médio de agregados do solo da classe i (mm); $MAGRi$ = massa de agregados do solo da classe i (g); mi = massa de material inerte da classe i (g).

6.7 Condutividade hidráulica saturada, porosidade e densidade do solo

Para essas determinações foram retiradas amostras, com estrutura preservada, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (0-7,5 e 10-17,5 cm), utilizando cilindros de Uhlund com dimensões de 7,5 x 7,5 cm. As análises foram realizadas segundo metodologia de EMBRAPA (1997).

Primeiramente realizou-se a determinação da condutividade hidráulica saturada, através do permeâmetro de carga constante. Para isso, as amostras foram saturadas por capilaridade durante 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do cilindro e a partir daí determinou-se a condutividade.

Na determinação da porosidade do solo, utilizaram-se as mesmas amostras já utilizadas na condutividade. Elas foram novamente saturadas como descrito acima e

foram colocadas na mesa de tensão e drenadas no potencial equivalente a $-0,006$ MPa. A partir dos valores de umidade com saturação da amostra e dos valores de retenção de água, calcularam-se os valores de macro, micro e porosidade total do solo:

$$D_s = \frac{P_{se}}{V_c} \quad M_a = \frac{P_{sat} - P_{60}}{V_c} \quad M_i = \frac{P_{60} - P_{se}}{V_c} \quad P_t = M_i + M_a$$

Onde: D_s = densidade do solo; P_{se} = Peso do solo seco a 105°C ; V_c = Volume do cilindro; M_a = Macroporosidade; P_{sat} = Peso do solo saturado; P_{60} = Peso do solo no potencial de $-0,006$ MPa; M_i = Microporosidade; P_t = Porosidade total.

6.8 Análises estatísticas

Os dados experimentais foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, onde cada repetição foi composta por três sub-amostras coletadas ao acaso dentro de uma área de 100 m^2 , conforme sugestão de BEWKET e STROOSNIJDER (2003). Os resultados das análises químicas e físicas foram submetidos à análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Também foram realizadas análises de correlação de Pearson, bem como verificada a significância dos coeficientes de correlação.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Características químicas e mineralógicas

As características químicas das amostras de solo coletadas na área de Júlio de Castilhos (JC), em seus diferentes sistemas de uso, são apresentados na tabela 1. Os valores de pH do solo apresentaram uma variação significativa entre os sistemas de uso do solo nas duas profundidades. Os maiores valores na profundidade de 0-10 cm foram encontrados no JCPD, seguidos do JPCN e por último JCMN. A aplicação de calcário na implantação do sistema plantio direto explica este maior valor encontrado.

Para o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) observa-se que houve diferença significativa entre os sistemas de uso do solo nas duas profundidades. O JCMN e JCPD apresentaram os maiores valores de Ca e Mg na profundidade de 0-10 cm e não diferiram entre si. O calcário é fonte desses dois nutrientes, explicando os maiores valores encontrados na área de plantio direto. Observa-se que os valores maiores foram encontrados na camada de 0-10 cm nos três sistemas de uso. SOUZA & ALVES (2003) atribuíram esses maiores valores em superfície para os solos utilizados com sistemas agrícolas de culturas anuais, em função da adição de calcário, a reciclagem de cálcio via decomposição de resíduos e ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada.

Os maiores valores de fósforo (P) e potássio (K), no solo de Júlio de Castilhos, foram encontrados no JCPD nas duas profundidades, enquanto que o JCCN e JCMN tiveram os menores valores não diferindo entre si. Esses maiores teores de P e K podem ser explicados pelas adições freqüentes de fertilizantes contendo esses nutrientes, que são colocados na adubação de semeadura das culturas anuais ao longo do tempo de cultivo. Resultados semelhantes foram encontrados por SOUZA & ALVES (2003) e CAVALCANTE et al (2007). Os Argissolos e os Latossolos são solos que apresentam baixa fertilidade natural, forte acidez, e em geral, elevada saturação por alumínio (STRECK et al., 2002).

Comparando diferentes ecossistemas em Latossolo Vermelho sob solos de cerrado, ALVARENGA & DAVIDE (1999), observaram substanciais aumentos nos teores de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, bem como diminuição da acidez e do teor de Al trocável no sistema utilizado com culturas anuais, quando comparado com uma área de vegetação nativa. Estes autores afirmam que, em condições naturais, esses solos não são capazes de promover produções economicamente compensadoras, pois quimicamente, não favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais exigentes em nutrientes.

Os valores de CTC_{pH7} tiveram diferença significativa apenas na profundidade 0-10 cm, com os maiores valores sendo encontrados no JCMN, seguidos do JCPD e JCCN que não diferiram entre si (Tabela 1).

Os maiores valores de saturação por bases (V%) na profundidade de 0-10 cm foram encontrados no JCPD e JCMN, não diferindo significativamente entre si, enquanto que em 10-20 cm apenas a área de mata nativa diferiu e foi superior às demais. Não houve diferença significativa nos primeiros 10 cm de profundidade para o Al trocável, mas teve em 10-20 cm, com o JCCN e JCMN apresentando os maiores valores. O JCCN também apresentou maior saturação com alumínio (Al%).

Os maiores valores de óxidos de ferro no solo de Júlio de Castilhos, tanto o Fe_o quanto o Fe_d , foram encontrados no JCMN, independente da profundidade analisada (Tabela 2). A relação Fe_o/Fe_d , segundo KÄMPF & CURI (2003) indica o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe sendo que no presente trabalho essa relação foi significativamente superior nas áreas de mata e campo nativo (JCMN e JCCN) que não diferiram entre si.

As características químicas das amostras de solo, coletadas na área de Silveira Martins (SM) em seus diferentes sistemas de uso, são apresentadas na tabela 1. Os valores de pH do solo apresentaram diferença significativa entre os sistemas de uso. Os maiores valores nas duas profundidades foram encontrados no SMPD. Este maior valor está relacionado ao fato de ter sido aplicado calcário na implantação do sistema plantio direto, assim como foi observado na área de JC. Devido à aplicação desse corretivo no solo, observa-se que os valores maiores de Ca e Mg também estão no SMPD. De maneira contrária, ocorreu com o Al trocável e com o H, ou seja, uma diminuição em seus valores em função da correção da acidez.

Tabela 1 - Características químicas do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso nas áreas de estudo.

Uso da terra ⁽¹⁾	pH		Complexo Sortivo, cmol _c kg ⁻¹												V%		Al%		P		
			Ca		Mg		K		H		Al		CTCpH7						mg dm ⁻³		
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
Júlio de Castilhos																					
JCMN	4,3 c ²	4,6 b	4,3 a	2,9 a	1,7 a	1,4 a	0,30 b	0,20 b	8,7 a	8,7ns*	1,2ns	2,0 b	16,2 a	15,3ns	38,7 a	29,8 a	18,3 b	31,8 b	5,3 ab	2,2 b	
JCCN	4,9 b	4,9 a	2,1 b	1,6 b	0,8 b	1,1 ab	0,27 b	0,13 b	8,2 a	10,2	1,6	2,6 ab	13,1 b	15,7	24,0 b	18,6 b	35,7 a	47,8 a	0,9 b	1,3 b	
JCPD	5,2 a	4,9 a	3,3 a	1,5 b	1,6 a	0,8 b	0,59 a	0,37 a	5,8 b	9,5	1,1	3,1 a	12,4 b	15,2	45,4 a	18,6 b	16,8 b	54,1 a	12,6 a	5,1 a	
Silveira Martins																					
SMMN	4,2 b	4,0 bc	3,5 b	0,8 b	1,5 b	0,5 b	0,36ns	0,16ab	13,0 a	11,7 b	2,2 b	4,5 b	20,6 a	17,6 b	30,0 b	8,3 b	35,1 b	77,0 a	14,7 b	5,3 ab	
SMRF	4,3 b	4,3 b	0,6 c	0,3 b	0,3 c	0,2 b	0,30	0,23 a	9,7 a	9,7 b	4,0 a	4,4 b	14,9 b	14,8bc	8,8 c	5,0 b	75,8 a	86,7 a	6,7 b	3,9 ab	
SMPD	5,6 a	5,0 a	7,4 a	4,5 a	2,8 a	1,9 a	0,21	0,09 b	2,8 b	4,4 c	0,1 c	1,2 c	13,2 b	12,2 c	78,4 a	53,9 a	0,1 c	18,4 b	10,6 b	2,5 b	
SMPC	4,1 b	4,0 c	1,9 bc	1,1 b	0,2 c	0,2 b	0,33	0,15 b	14,1 a	19,0 a	4,6 a	6,0 a	21,2 a	26,5 a	12,9 c	6,0 b	65,7 a	80,2 a	39,8 a	9,9 a	
São João do Polêsine																					
SJMN	5,6 a	5,3 ab	8,5 a	4,8 a	1,9 a	1,3 a	0,53 a	0,21ab	3,1bc	3,0 ab	0,1 c	0,2 b	14,2 a	9,6 ns	76,3 a	65,0ab	0,7 c	5,3 b	10,4 a	3,5 a	
SJMS	5,7 a	5,6 a	7,3 a	5,0 a	1,7 a	1,1 a	0,47ab	0,29 a	2,9 c	2,6 b	0,0 c	0,2 b	12,4 ab	9,3	74,2 a	68,7 a	1,0 c	3,3 b	5,6 b	2,5 b	
SJLA	4,9 b	5,0 b	2,8 b	3,2 b	0,3 b	0,3 b	0,24 c	0,19ab	5,6 a	4,2 a	1,0 a	1,1 a	9,4 bc	9,0	31,1 c	42,9 c	26,1a	23,7 a	2,8 c	2,2 b	
SJLN	4,8 b	5,0 b	1,8 b	2,5 b	0,4 b	0,4 b	0,32b	0,20ab	4,9 ab	3,4 ab	1,0 a	0,8 a	8,4 c	7,3	30,6 c	42,9 c	28,0a	21,4 a	3,5 c	2,1 b	
SJLV	5,0 b	5,1b	2,8 b	4,0 ab	0,6 b	0,5 b	0,24 c	0,15 b	4,3abc	3,6ab	0,6 b	0,3 b	8,5 c	8,6	43,1 b	54,5bc	14,1b	6,6 b	3,0 c	2,0 b	

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. A comparação foi feita entre os sistemas de manejo para cada local em separado.

*ns= diferença não significativa.

Os valores de potássio (K), embora não tenha havido diferença significativa entre os usos da terra na profundidade de 0-10 cm, possivelmente em função do alto valor de CV encontrado (dados não apresentados), apresentou os maiores valores no SMMN e SMPC, enquanto que na profundidade de 10-20 cm, seus maiores valores se encontram no SMRF e SMMN. O SMPC apresentou os maiores valores de fósforo (P), diferindo significativamente dos demais sistemas, que por sua vez não diferiram entre si na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, o SMPC também apresentou os maiores teores de P, não diferindo da SMRF e SMMN, porém diferiu do SMPD. Observa-se, para esses dois nutrientes (K e P), o baixo valor encontrado no sistema de plantio direto. Nos anos que antecederam a implantação do PD, este solo foi utilizado intensamente com a cultura da batata pelo sistema convencional com alto revolvimento do solo. O relevo suave ondulado a ondulado onde se encontra esta área de estudo, pode acelerar o processo de erosão do solo carreando parte dos nutrientes que são aplicados ao solo para desenvolvimento das culturas. Mesmo após a implantação do PD, o manejo adotado no solo pelo produtor não condiz com as práticas ideais, dentre elas a rotação cultural e utilização de plantas de cobertura, por exemplo.

O SMPD apresentou os maiores valores de saturação por bases (V%) e também a menor saturação por Al (Al%), diferindo significativamente dos demais sistemas de usos da terra nas duas profundidades amostradas. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi maior no SMMN e SMPC que diferiram dos demais usos, para a profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm apenas o SMPC foi superior e diferiu dos demais.

A área SMPC apresentou os maiores valores de Fe_d , enquanto que os maiores valores de Fe_o foram encontrados nas áreas de SMPC, SMPD e SMMN que não diferiram entre si nas duas profundidades (Tabela 2). A relação Fe_o/Fe_d atingiu os maiores valores no SMPD, SMMN e SMPC, para a profundidade de 0-10 cm e no SMMN e SMPD para a profundidade de 10-20 cm não diferindo significativamente entre si.

As características químicas das amostras de solo coletadas na área de São João do Polêsine (SJ) estão apresentados na Tabela 1. Observou-se, de um modo geral, que todas as variáveis foram influenciadas pelos diferentes usos do solo. O pH, Ca e Mg tiveram comportamentos semelhantes e seus maiores valores estão nos usos SJMN e SJMS em ambas as profundidades. A não adição de calcário para

correção da acidez, o qual adicionaria juntamente Ca e Mg ao solo, além do uso com agricultura ao longo dos anos fizeram com que ocorressem os menores valores de pH, Ca e Mg nas áreas SJLV, SJLN e SJLA.

Para os valores de fósforo (P), o SJMN apresentou o maior valor na profundidade de 0-10 cm diferindo de SJMS que apresentou valores intermediários, que por sua vez diferiu de SJLA, SJLN e SJLV. Na profundidade de 10-20 cm apenas SJMN foi superior e diferiu dos demais usos. Comparando-se as duas áreas de mata (0-10 cm), observa-se um menor valor na mata secundária (SJMS) que possui o histórico de ter sido utilizada com agricultura por apenas um ano, há 20 anos atrás. Mesmo após este longo período de abandono e estabelecimento de uma nova vegetação natural (secundária), ainda não foi possível recuperá-la a níveis similares aos da mata nativa que não possui histórico de intervenção antrópica. Os teores de K tiveram comportamento semelhante ao P, com os maiores valores sendo encontrados nas áreas de SJMN e SJMS para a profundidade de 0-10 cm. O Al trocável, o H e a saturação com Al (Al%) apresentaram de maneira geral seus maiores valores nas áreas que sofreram um uso mais intenso (SJLA, SJLN e SJLV). Observa-se que nos três usos do solo, onde houve uma utilização mais acentuada, houve depressão da fertilidade e um ligeiro aumento no teor do alumínio.

As áreas SJMN e SJMS apresentaram os maiores valores de saturação por bases (V%), diferindo estatisticamente dos demais usos, em ambas as profundidades analisadas. A CTC do solo também teve seus maiores valores encontrados nas áreas com mata nativa e secundária, na profundidade de 0-10 cm, enquanto que não houve diferença significativa em 10-20 cm.

Os maiores valores de Fe_d para a área de São João do Polêsine foram encontrados em SJMS, SJLA e SJLN, para a profundidade de 0-10 cm e nos usos SJLA, SJLN e SJLV para a profundidade de 10-20 cm. Os maiores valores de Fe_o e também a relação Fe_o/Fe_d , foram encontrado nos usos SJLA, SJLN e SJLV em ambas as profundidades analisadas. Os valores da relação Fe_o/Fe_d , incluindo os solos coletados nos três municípios, variaram de 0,3 a 0,6, indicando solos medianamente intemperizados. Solos intensamente intemperizados apresentam uma baixa relação Fe_o/Fe_d , geralmente inferior a 0,05, conforme constatado por ALMEIDA et al. (2003) e DALMOLIN et al. (2006) para Latossolos do sul do Brasil.

Tabela 2 - Ferro ditionito (Fe_d), ferro oxalato (Fe_o), relação Fe_o/Fe_d do solo, nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm).

Uso da terra (1)	Fe_d , g kg ⁻¹		Fe_o , g kg ⁻¹		Fe_o/Fe_d	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Júlio de Castilhos						
JCMN	20,7 a ⁽²⁾	21,4 a	7,3 a	7,0 a	0,35 a	0,33 a
JCCN	12,5 b	12,8 b	4,1 b	3,9 b	0,33 ab	0,30 a
JCPD	12,3 b	13,4 b	3,8 b	3,5 b	0,31 b	0,26 b
Silveira Martins						
SMMN	8,9 b	8,7 b	5,3 a	5,6 a	0,59 a	0,64 a
SMRF	8,2 c	8,8 b	4,0 b	3,8 b	0,48 b	0,44 c
SMPD	8,7 bc	9,1 b	5,6 a	5,2 a	0,64 a	0,58 ab
SMPC	10,2 a	11,8 a	5,6 a	5,6 a	0,55 ab	0,48 bc
São João do Polêsine						
SJMN	8,2 c	8,2 c	2,9 c	2,7 c	0,35 b	0,34 d
SJMS	10,7 a	9,6 b	3,8 bc	3,9 b	0,36 b	0,41 cd
SJLA	9,9 a	11,0 a	4,6 ab	5,5 a	0,46 ab	0,49 bc
SJLN	9,9 a	10,1 ab	5,0 a	5,6 a	0,50 a	0,55 ab
SJLV	9,1 b	10,0 ab	5,0 a	6,3 a	0,54 a	0,63 a

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. A comparação é feita entre os sistemas de manejo para cada local em separado.

Os difratogramas das amostras coletadas na profundidade de 0-10 cm, para os diferentes usos em Júlio de Castilhos (JC) e Silveira Martins (SM) são apresentados nas Figuras 2 e 3.

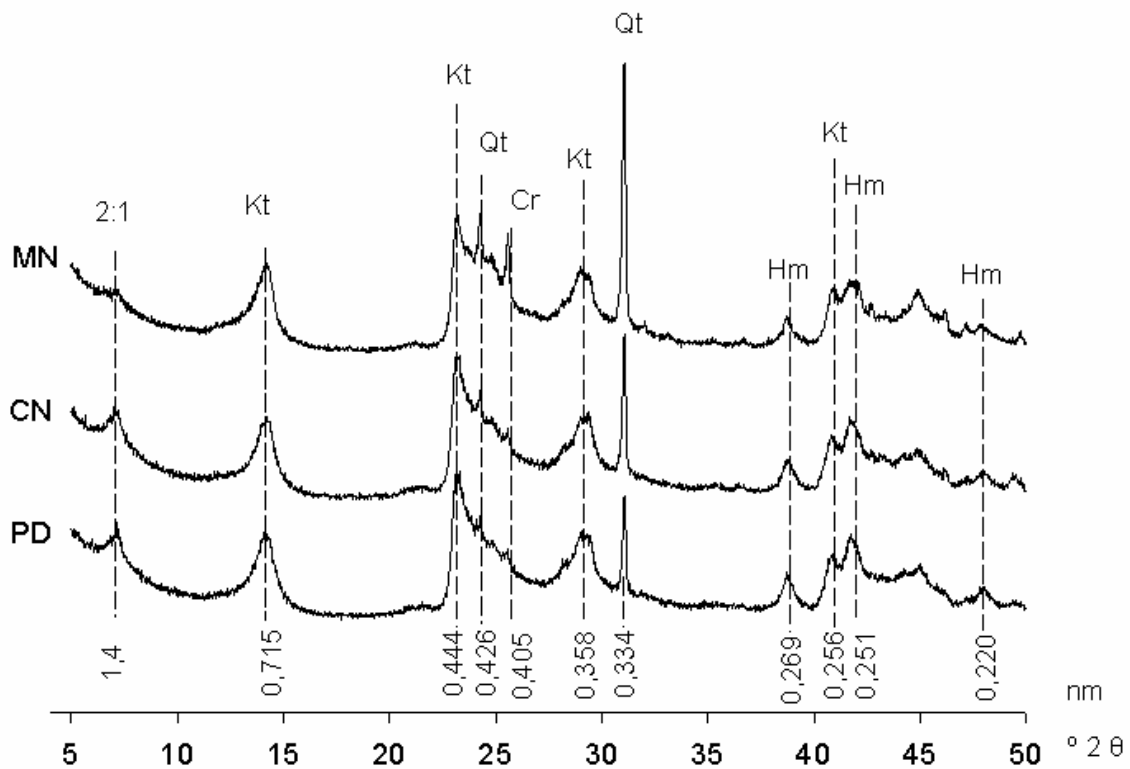


Figura 2 - Difratomogramas da fração argila em pó de amostras de solo (profundidade 0-10 cm) nos diferentes usos na área de Júlio de Castilhos. (Kt= caulinita; Qz= quartzo; Cr= cristobalita; Hm= hematita; MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto).

Optou-se por fazer a difração de raios-X apenas na profundidade de 0-10 cm devido à provável semelhança na mineralogia nas profundidades analisadas. Os difratogramas da fração argila do solo da área de Júlio de Castilhos mostraram similaridade entre os diferentes sistemas de uso deste solo. A presença de reflexos intensos em 0,715 nm e de menor intensidade em 0,358 e 0,256 nm indica o predomínio da caulinita (Kt) nestes solos, o que confirma o predomínio deste argilomineral em solos bem desenvolvidos na transição do Planalto e no Planalto do estado do Rio Grande do Sul (KÄMPF & KLAMT, 1978; CURI et al., 1984; PEDRON, 2007). A caulinita é um mineral de grande ocorrência nos solos e sua alta frequência, segundo KÄMPF e CURI (2003), deve-se em parte à possibilidade da sua formação a partir de vários minerais diferentes, desde que haja remoção parcial de cátions básicos e de sílica.

A presença do quartzo, mesmo na fração argila também é marcante nos difratogramas com reflexo intenso em 0,334 nm e reflexo secundário em 0,426 nm.

DALMOLIN (2002) também encontrou a presença de quartzo na fração argila de solos intemperizados – Latossolos – do Planalto do RS, principalmente naqueles que mesmo desenvolvidos de basalto apresentaram influência do arenito no seu processo de formação. Na área Júlio de Castilhos, os teores de areia na fração terra fina (< 2 mm) variaram de 333 a 495 g kg⁻¹ (Tabela 6) confirmando a influência do arenito na gênese destes solos.

A presença de minerais primários como o quartzo é de ocorrência comum em solos e podem indicar o grau de evolução dos solos e sua reserva mineral. O arranjo compacto dos tetraedros de silício que compõem sua estrutura confere a esse mineral uma grande resistência ao intemperismo (INDA JUNIOR et al., 2006). O reflexo em 0,405 nm indica a presença de cristobalita, também identificado em Latossolos do RS por KÄMPF & KLAMT (1978) e DALMOLIN (2002). A hematita também está presente nestes solos, visualmente pela cor, com matiz de 2,5YR ao longo do perfil e pelos reflexos em 0,269, 0,251 e 0,220 nm. Os reflexos na região de 1,4 nm, revelaram a presença de minerais 2:1, não sendo possível identificar qual o argilomineral presente, pois não foram realizados tratamentos de expansão com magnésio + glicerol. Provavelmente este mineral seja hidróxi-Al entre camadas, também observados nos trabalhos de KÄMPF & KLAMT (1978) e DALMOLIN (2002).

O reflexo existente próximo à região 0,444 nm pode indicar presença de caulinita desordenada, mas também pode ser confundido com a presença de haloisita, conforme constatado por ALMEIDA et al. (1992). Esses autores, utilizando testes com dimetil-formamida, formamida e hidrazina, conseguiram identificar presença de caulinita com alto grau de desordem estrutural, em solos brunos no Sul do Brasil.

Nos difratogramas da fração argila dos solos coletados em SM (Figura 3), observa-se os mesmos minerais identificados para a área de JC, mostrando a semelhança mineralógica entre estes dois solos.

Em relação aos óxidos de ferro, observa-se em 0,269 nm o reflexo da hematita, menos intenso que nas amostras de JC, sugerindo um menor teor deste mineral nesses solos, confirmado pela cor predominantemente mais amarelada (matiz 5YR). As cores avermelhadas que predominam nesse solo são características do poder pigmentante elevado da hematita, que mesmo em teor baixo é capaz de conferir tonalidade avermelhada aos solos (RESENDE, 1976).

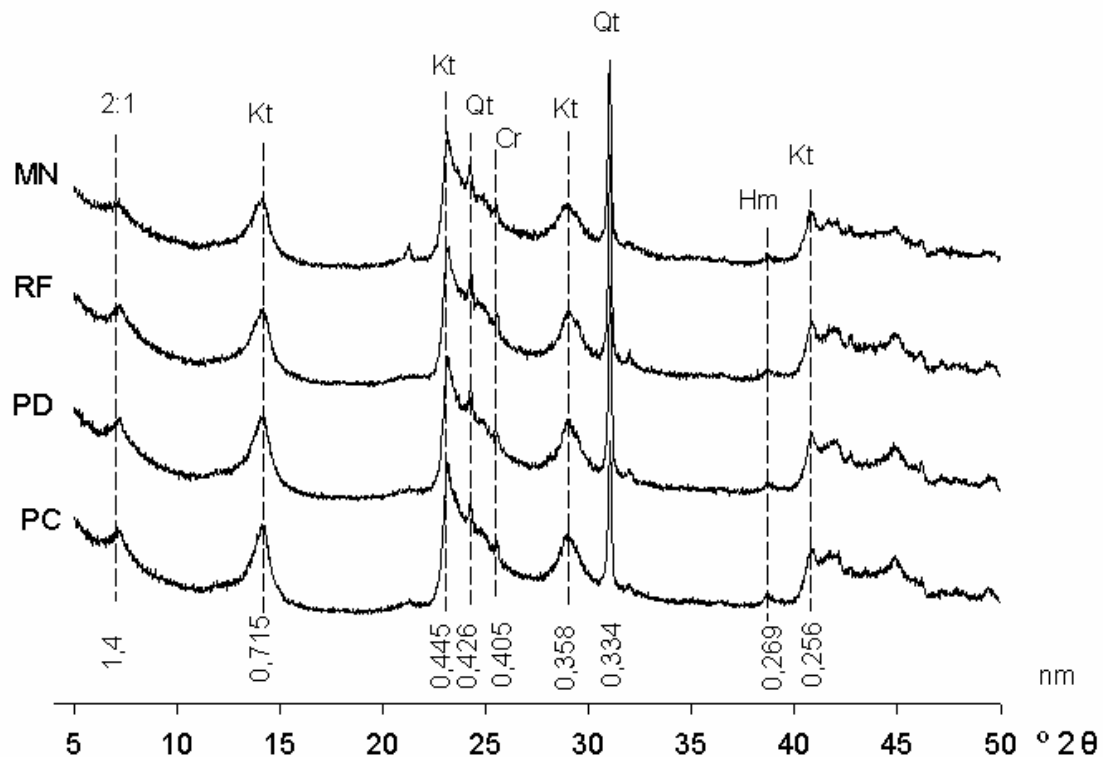


Figura 3 - Difractogramas da fração argila em pó de amostras de solo (profundidade 0-10 cm) nos diferentes usos na área de Silveira Martins-RS. (Kt= caulinita; Qz= quartzo; Cr= cristobalita; Hm= hematita; MN= mata nativa; RF= reflorestamento; PD= plantio direto; PC= plantio convencional).

Em relação à MO, os maiores valores para a área de Júlio de Castilhos, na camada de 0-10 cm, foram encontrados no JCPD e JCMN, diferindo estatisticamente do JCCN (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por BAYER & MIELNICZUK (1997), SOUZA & ALVES (2003) e CAVALCANTE et al (2007) ao encontrarem teores de MO, no PD, semelhantes aos da vegetação natural. Este maior teor de MO no PD pode estar associado a alta quantidade de cobertura vegetal que é adicionada pelo sistema, quando comparado com o campo nativo, por exemplo, que sofre o pastoreio e, com isso, diminui a quantidade de material disponível. De acordo com AMADO et al. (2001), as maiores adições de carbono ocorrem em sistemas com culturas de cobertura, o que evidencia o seu potencial em aumentar as adições de carbono ao solo.

Nos ecossistemas naturais, a fonte de carbono orgânico do solo tem uma única origem, ou seja, os resíduos vegetais da vegetação nativa, enquanto nos agrossistemas a maior parte do carbono do solo apresenta no mínimo duas fontes: a

remanescente da vegetação nativa e a produzida pela decomposição dos resíduos vegetais de uma ou mais culturas introduzidas (BERNOUX et al, 2006).

Tabela 3 - Teor de matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Uso da terra ⁽¹⁾	Matéria Orgânica	
	----- % -----	
	0-10	10-20
Júlio de Castilhos		
JCMN	3,1 ab	3,5 a
JCCN	2,6 b	3,3 a
JCPD	3,3 a	2,4 b
Silveira Martins		
SMMN	4,8 a	2,4 a
SMRF	2,7 b	1,6 b
SMPD	2,6 b	2,0 ab
SMPC	2,4 b	1,7 b
São João do Polêsine		
SJMN	4,4 a	2,2 a
SJMS	3,5 b	1,8 ab
SJLA	1,8 c	1,2 c
SJLN	1,7 c	1,2 c
SJLV	2,1 c	1,4 bc

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

Segundo BAYER et al, (2000), a redução do revolvimento do solo resulta numa diminuição das taxas de perdas de MO. Essa diminuição é atribuída às menores taxas de decomposição da mesma, pois a diminuição do fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais, a menor disponibilidade de oxigênio, as menores temperaturas e a maior proteção física da MO intra-agregados contribuem para diminuir a decomposição. Na profundidade de 10-20 cm, observa-se que, no CN e MN, os teores de MO foram superiores ao PD. Essas diferenças estão associadas à maior quantidade de raízes encontradas nestes dois sistemas. Segundo CERRI & MORAES (1992), as raízes das plantas vivas liberam substâncias orgânicas (rizodépósitos), que são constituintes da MO.

Na área de Silveira Martins, os maiores valores de MO na camada de 0-10 cm, foram encontradas na MN, sendo que os demais sistemas não diferiram entre si (Tabela 3). Observa-se, neste local, que o sistema PD não teve uma melhora significativa ao comparar com a área de PC, por exemplo. Embora o sistema de PD esteja implantado há apenas quatro anos, se esperaria uma condição mais favorável. Uma possível causa deste baixo teor de MO ocorre pelo fato do PD ser oriundo de um sistema convencional muito intenso com alto revolvimento do solo para cultivo da cultura da batata e, além disso, o manejo cultural adotado pelo produtor durante o período de inverno, com a utilização da área para pastagem, faz com que a adição de palhada seja muito baixa, impedindo desta forma os benefícios do sistema de plantio direto.

CORRÊA (2002) também encontrou menores teores de MO em sistemas com alta intensidade de preparo e uso de monocultivo com a cultura da soja, quando comparado à mata natural, porém eles encontraram uma melhora significativa quando foi utilizado o sistema de plantio direto sobre palhada de milho por dois anos consecutivos. Na camada de 10-20 cm os valores ficaram mais próximos entre si, com o PD não diferindo de MN.

Para a área de São João do Polêsine, na profundidade de 0-10 cm, os maiores valores de MO foram encontrados em SJMN, que diferiu significativamente de SJMS, que por sua vez diferiu dos demais sistemas de uso (SJLN, SJLV e SJLA) (Tabela 3). Comparando-se as duas áreas de mata (SJMN e SJMS), observa-se a interferência negativa nos teores de MO ocasionada pela derrubada da mata e pelo uso deste solo (SJMS) com lavoura anual. Nos últimos 20 anos em que esta área ficou abandonada houve o estabelecimento de espécies florestais novas, mas elas não conseguiram recuperar os teores de MO a níveis semelhantes aos encontrado na mata original (SJMN). Para a profundidade de 10-20 cm, não houve diferença significativa entre as duas áreas de mata, sugerindo, que a interferência do uso afetou apenas a camada mais superficial da mata secundária (SJMS) ou a mesma foi removida por erosão quando foi estabelecida a lavoura anual. Os sistemas de uso SJLN, SJLV e SJLA apresentaram os menores teores de MO nas duas profundidades e não tiveram diferenças significativas entre si. O baixo teor de MO para estes locais, possivelmente, se deve à alta interferência antrópica, causada pela utilização agrícola de culturais anuais em anos anteriores, sem cuidados

conservacionistas de preparo dos solos. Estas áreas localizam-se em locais declivosos e muitas vezes impróprios para o uso com lavouras.

Para as áreas Júlio de Castilhos e Silveira Martins, fez-se a caracterização da matéria orgânica por análises de espectroscopia de RMN ^{13}C CP/MAS de acordo com SCHAEFER e STEJSKAL (1976), para a profundidade de 0-10 cm. A figura 4 mostra os espectros obtidos.

Na área de Júlio de Castilhos, os sistemas de manejo PD e CN apresentam o mesmo padrão de espectro, com o pico de maior intensidade na região de ocorrência do grupo C-O-alkil, enquanto a MN apresentou maior intensidade do sinal de RMN ^{13}C na região de ocorrência do C-carboxílico, onde tem predomínio de grupamentos carboxílicos e amidas. Em Silveira Martins, observa-se um comportamento semelhante entre os sistemas MN e RF, com dois picos mais intensos localizados na região de ocorrência dos grupos C-alkil, onde predominam os ácidos graxos e, na região do C-O-alkil, onde tem predomínio da lignina. Neste mesmo local, o sistema PD e PC também tiveram dois picos mais elevados, porém, localizados na região de ocorrência dos grupos C-O-alkil e C-carboxílico.

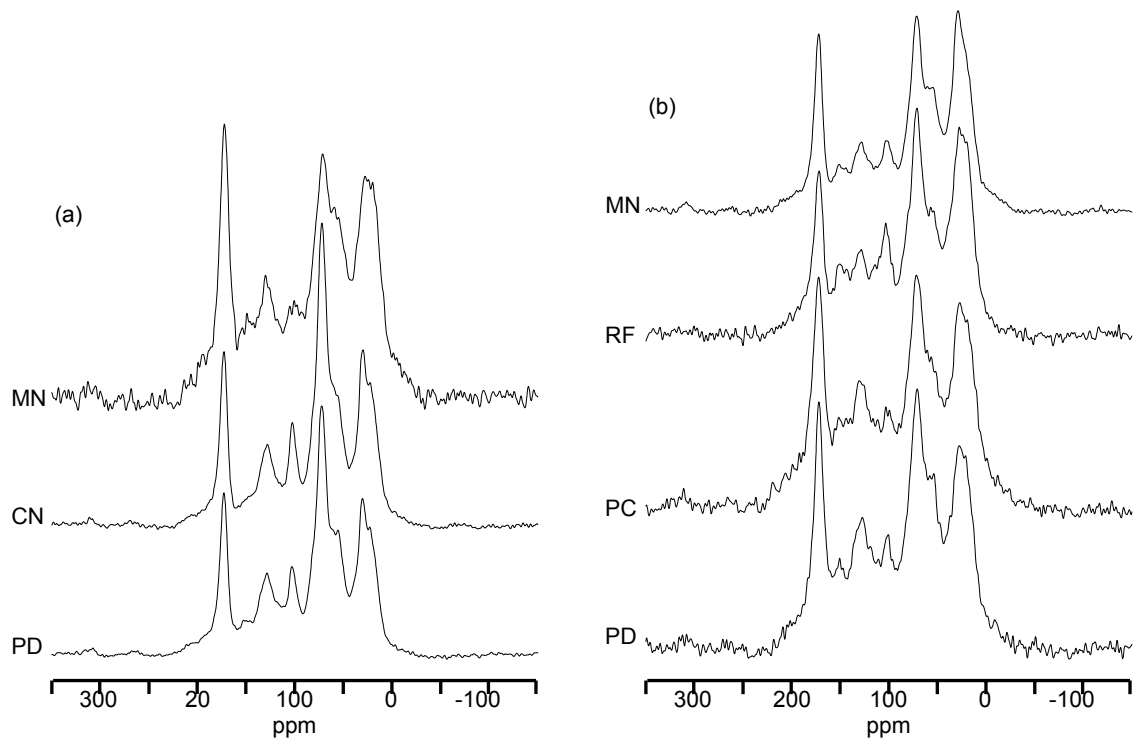


Figura 4 - Espectros de RMN ^{13}C CP/MAS adquiridos para matéria orgânica concentrada para os diferentes usos do solo, para os dois locais de coleta: a) Júlio de Castilhos; b) Silveira Martins. (MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto; RF= reflorestamento; PC= plantio convencional).

O grupo C-O-alquil foi o grupo de carbono que apresentou a maior contribuição nos espectros de RMN ^{13}C , independente da área e sistema de manejo dos solos (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por DALMOLIN (2002) ao estudar a relação entre a MO e características ambientais e pedogenéticas de Latossolos de uma climosequência no RS, onde ele infere que este maior teor de carbono do grupo C-O-alquil caracteriza uma MO com elevado teor de estruturas tipo carboidratos.

A presença de carboidratos pode refletir tanto a produção de resíduos pela atividade microbiana como resultado da degradação de outras formas de carbono, como os contidos em biopolímeros aromáticos, como as ligninas (CANELLAS et al, 2007).

Os índices mais elevados de aromaticidade (A%) foram encontrados na área de Silveira Martins nos usos SMPC e SMPD (Tabela 4), enquanto que em SMMN e SMRF, com menor intensidade de uso, estes índices foram menores. Comportamento contrário ocorreu na área de Júlio de Castilhos onde a mata nativa (JCMN) apresentou maior aromaticidade, seguido por JCPD e JCCN.

Tabela 4 - Contribuição dos diferentes grupos de carbono para a intensidade total adquirida do sinal de ^{13}C RMN CP/MAS dos grupos funcionais, índices A/O-A e A(%) dos solos (profundidade de 0-10cm) das áreas de Júlio de Castilhos e Silveira Martins.

Uso da terra ⁽¹⁾	Grupos de carbono (ppm)					A/O-A	A (%)
	C-alquil	C-O-alquil	C-aromático	C-carboxílico	C-carbonílico		
	0-45	45-110	110-160	160-185	185-230		
-----%-----							
Júlio de Castilhos							
JCMN	26,0	35,8	16,1	14,7	3,3	0,73	21
JCCN	24,1	45,8	13,1	11,8	2,4	0,53	16
JCPD	23,0	43,7	15,6	12,4	3,1	0,53	19
Silveira Martins							
SMMN	29,0	37,1	14,1	13,0	3,1	0,78	18
SMRF	28,5	37,0	16,5	11,7	3,3	0,77	20
SMPD	23,0	36,2	18,6	13,7	3,3	0,63	24
SMPC	23,3	32,0	18,1	14,0	5,9	0,73	25

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional;

Conforme PRESTON (1996), com o aumento do processo de humificação, ocorre aumento da aromaticidade e diminuição das estruturas tipo polissacarídeos. DALMOLIN et al. (2006) utilizando este mesmo índice encontraram variação na aromaticidade ao longo do perfil, ao estudarem Latossolos em diferentes condições de umidade e temperatura no RS, indicando que essa variação foi condicionada pelo clima.

O índice A/O-A proposto por BALDOCK (1997), permite identificar o grau de humificação dos solos. Esse índice mostrou tendência de diminuir conforme o aumento da intensidade de uso, comportamento contrário ao apresentado pelo índice A%. DALMOLIN (2002) constatou que o índice A/O-A não foi eficiente para determinar o grau de humificação nos Latossolos estudados.

Os teores de carbono do solo (C_S) determinados por combustão seca, na profundidade de 0-10 cm, variaram de 17,4 a 37,9 mg g⁻¹, enquanto que o nitrogênio do solo (N_S) variou de 1,26 a 4,05 mg g⁻¹ (Tabela 5). Os maiores valores, como já era de se esperar e confirmando os valores encontrados na determinação por combustão úmida (Tabela 3), foram encontrados na mata nativa. De acordo com BAYER et al, (2000), o baixo revolvimento do solo resulta numa diminuição das taxas de perdas de MO, atribuída à diminuição da decomposição, em função da diminuição do fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais, menor disponibilidade de oxigênio, menores temperaturas e a maior proteção física da MO intra-agregados. A relação C_S/N_S foi semelhante entre os locais e sistemas de manejo, variando de 9,0 a 12,6.

Os dados de C_{MOS} e N_{MOS} (Tabela 5) indicaram a eficácia do tratamento com solução de HF 10% em concentrar a matéria orgânica do solo em todos os sistemas de uso e locais estudados. O fator de enriquecimento (FE) do C e do N variou de 6,5 a 12, confirmando o processo de concentração (DALMOLIN, 2002). Este mesmo autor encontrou resultados semelhantes ao estudar diversos Latossolos do RS, tendo como única exceção um Latossolo de textura mais arenosa que, devido ao elevado teor de quartzo, não foi totalmente solubilizado pelo tratamento com HF, encontrando FE inferior à 1,5. Conforme observado pelo índice R (SCHMIDT et al., 1997) não houve extração seletiva da matéria orgânica para os solos estudados, com exceção no SMRF. Valores de índice R em torno de $1,0 \pm 0,2$ são usualmente

aceitos como indicadores da perda não seletiva de MO durante o tratamento com ácido fluorídrico.

Tabela 5 - Teor de carbono (C_S) e nitrogênio (N_S) total do solo, carbono (C_{MOS}) e nitrogênio (N_{MOS}) total da matéria orgânica concentrada, relação C/N do solo (C_S/N_S), relação C/N da fração matéria orgânica concentrada (C_{MOS} / N_{MOS}), fator de enriquecimento (FE), recuperação (Rec.) de C e N e índice R dos solos estudados, na profundidade de 0-10 cm.

Uso da terra ⁽¹⁾	C_S	N_S	C_S/N_S	C_{MOS}	N_{MOS}	C_{MOS}/N_{MOS}	FE		Rec. (%)		R
	mg g ⁻¹			mg g ⁻¹			C	N	C	N	
Júlio de Castilhos											
JCMN	24,4	2,70	9,0	158,5	16,3	9,7	6,5	6,0	71,0	66,2	0,93
JCCN	19,6	1,69	11,5	167,3	12,9	13,0	8,5	7,6	--*	--	0,89
JCPD	19,6	1,78	11,0	234,5	19,8	11,8	12,0	11,1	--	--	0,93
Silveira Martins											
SMMN	37,9	4,05	9,4	293,4	26,4	11,1	7,8	6,5	61,7	52,1	0,84
SMRF	16,9	1,26	12,6	179,6	10,1	17,8	11,2	8,0	67,7	48,1	0,71
SMPD	18,6	1,56	11,9	187,4	13,4	13,9	10,1	8,6	55,5	47,4	0,86
SMPC	17,4	1,69	10,3	209,0	17,4	12,0	12,0	10,3	64,3	55,3	0,86

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional;

* -- não determinado devido ao elevado teor de quartzo que permaneceu na amostra após tratamento com HF.

7.2 Características Físicas

Os resultados da análise granulométrica dos solos estudados encontram-se na Tabela 6. Embora ocorrendo em uma área com material de origem semelhante e com apenas pequenas variações de relevo, a distribuição granulométrica nos diferentes usos foi variável para os três locais de estudo. Nos solos de JC houve um predomínio maior da fração areia, chegando à 495 g kg⁻¹, enquanto que os teores de argila variaram de 278 a 380 g kg⁻¹. Em Argissolos como estes da área de JC, é comum a presença de um horizonte A mais arenoso, contrastando gradualmente para um horizonte subsuperficial mais argiloso (STRECK et al., 2002). Nos solos

coletados em SM e SJ, a fração silte foi a predominante, variando de 444 a 696 g kg⁻¹. Este maior teor de silte, apoiado com os valores maiores da relação silte/argila apresentado nestes dois últimos locais, são evidências de uma evolução pedogenética moderada, indicando solos menos intemperizados (CLEMENTE et al., 2000). Na área do Rebordo do Planalto, onde estão localizados as áreas SM e SJ, devido ao relevo e a evolução da paisagem, é comum a ocorrência de solos com baixo grau de intemperismo.

Tabela 6 - Composição granulométrica e relação silte/argila do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo

Uso da terra ⁽¹⁾	Areia Total		Areia Grossa		Areia Fina		Silte		Argila		Silte/Argila	
	----- g Kg ⁻¹ -----											
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Júlio de Castilhos												
JCMN	333	344	139	131	194	212	300	276	367	380	0,8	0,7
JCCN	495	468	150	132	345	336	227	229	278	303	0,8	0,8
JCPD	480	459	139	113	341	346	206	192	314	349	0,7	0,6
Silveira Martins												
SMMN	146	133	35	21	111	111	572	607	282	261	2,1	2,4
SMRF	152	130	27	20	125	110	608	553	240	317	2,7	1,8
SMPD	94	78	14	9	81	69	689	665	217	257	3,2	2,7
SMPC	128	107	16	14	111	92	518	444	354	449	1,5	1,1
São João do Polêsine												
SJMN	180	158	21	13	159	145	672	696	148	146	4,5	4,8
SJMS	186	189	31	30	155	159	626	623	187	188	3,3	3,3
SJLA	236	208	53	46	183	161	564	526	200	266	2,8	2,0
SJLN	268	237	69	56	199	181	517	509	215	254	2,4	2,0
SJLV	282	280	85	83	197	197	489	461	229	260	2,1	1,8

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

Em relação à densidade do solo (Ds), foi observado um aumento nos diferentes sistemas de uso do solo em relação à mata nativa, independente do local e profundidade analisada (Tabela 7). Resultados semelhantes foram verificados em trabalhos de ANJOS et al., (1994) e KLEIN & LIBARDI (2002). Avaliando os atributos

físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto, ASSIS & LANÇAS (2005) identificaram que somente a partir do décimo segundo ano de instalação, o sistema de plantio direto conseguiu se igualar aos valores de Ds encontrado na mata nativa, para a camada de 0-5 cm, evidenciando o efeito do tempo na recuperação estrutural do solo. De modo geral, os valores da Ds foram mais altos na profundidade de 10-20 cm, quando comparados com a camada mais superficial, principalmente nos sistemas sob condições mais naturais (JCMN, SMMN, SMRF, SJMN, SJMS). Conforme CAVENAGE et al. (1999), ocorre um aumento natural em profundidade, considerando a diminuição do teor de MO e o peso das camadas de solo subjacentes.

Na área de campo nativo, utilizada como pastagem (JCCN) e também nas áreas com culturas anuais pelo sistema de plantio direto (JCPD e SMPD), são encontrados os maiores valores de Ds. Isto pode ser ocasionado pelo 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 tratamentos culturais das culturas agrícolas (COSTA et al., 2003; STRECK et al., 2004).

Observa-se que, mesmo nos usos SJLN, SJLV e SJLA onde não existe o preparo do solo mecanizado ou possível pisoteio com animais, apenas utilização permanente com a cultura da cana-de-açúcar e lavoura abandonada, foram encontrados valores mais elevados de Ds. Provavelmente o uso intensivo dessas áreas no passado com a cultura do milho, onde nestes últimos seis anos, mesmo com a mudança de utilização, não foi possível recuperar a Ds a sua condição original.

Nas áreas em que são utilizados com culturas agrícolas anuais (SMPC, SMPD e JCPD), os valores de Ds variaram de 1,23 a 1,39 g cm⁻³. KLEIN & LIBARDI (2002) verificaram que valores de Ds superiores a 1,26 g cm⁻³, em um Latossolo de textura argilosa, causaram deficiências na aeração do sistema radicular, e elegeram este valor como crítico para que a porosidade de aeração (macroporosidade) não seja limitante, conforme o limite crítico para o desenvolvimento radicular (0,10 m³ m⁻³) estabelecido por VOMOCIL & FLOCKER (1966). Sendo assim, os dados deste trabalho sugerem que, os sistemas com culturas anuais SMPD e JCPD apresentam restrições ao desenvolvimento radicular das plantas, o que pode ser comprovado ainda mais pelo baixo valor de macroporosidade (Tabela 7) encontrado no SMPD.

Tabela 7 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) do solos (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.

Uso da terra ⁽¹⁾	Ds		Macro		Micro		Pt	
	----- g cm ⁻³ -----		----- m ³ m ⁻³ -----					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Júlio de Castilhos								
JCMN	1,12 b ⁽²⁾	1,28 b	0,16 a	0,16 a	0,45 a	0,39 a	0,61 a	0,55 a
JCCN	1,34 a	1,40 a	0,12 b	0,11 c	0,39 b	0,36 b	0,50 b	0,47 b
JCPD	1,39 a	1,39 a	0,12 b	0,13 b	0,38 b	0,35 b	0,50 b	0,48 b
Silveira Martins								
SMMN	0,82 c	0,98 c	0,15 b	0,11 a	0,52 a	0,50 a	0,67 a	0,61 a
SMRF	1,11 b	1,31 ab	0,20 a	0,13 a	0,35 c	0,36 d	0,55 b	0,49 c
SMPD	1,33 a	1,37 ab	0,06 c	0,06 b	0,45 b	0,43 b	0,51 c	0,49 c
SMPC	1,23 ab	1,25 b	0,14 b	0,14 a	0,39 c	0,39 c	0,52 bc	0,53 b
São João do Polêsine								
SJMN	0,86 b	1,01 b	0,25 a	0,22 a	0,42 a	0,37 a	0,66 a	0,59 a
SJMS	0,88 b	1,10 b	0,25 a	0,19 a	0,38 b	0,37 a	0,62 a	0,56 b
SJLA	1,30 a	1,45 a	0,14 b	0,08 b	0,37 bc	0,38 a	0,50 b	0,46 c
SJLN	1,29 a	1,39 a	0,15 b	0,09 b	0,35 cd	0,38 a	0,50 b	0,47 c
SJLV	1,31 a	1,41 a	0,14 b	0,11 b	0,33 d	0,34 b	0,47 b	0,45 c

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. A comparação é feita entre os sistemas de manejo para cada local em separado.

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. Analisando apenas os autores que trabalharam com solos de textura semelhante a esse trabalho, observou-se que os trabalhos de BEUTLER et al. (2004) encontraram valores de densidade crítica como sendo 1,63 g cm⁻³, em solo com teor de argila de 271 g Kg⁻¹. SUZUKI (2005) encontrou 1,66 g cm⁻³ como sendo a densidade crítica, em um solo com 278 g Kg⁻¹ de argila. Baseado nesses dois autores se infere que as

diferentes formas de utilização dos solos analisados nos diferentes municípios, não causaram restrições ao desenvolvimento das plantas.

Os valores de macroporosidade do solo variaram de 0,06 a 0,25 m³ m⁻³ e foram influenciados significativamente pelos sistemas de uso do solo em ambas as profundidades e locais (Tabela 7). Os maiores valores foram encontrados nas condições originais do solo (JCMN, SJMN e SJMS) e na área reflorestada (SMRF). Este comportamento foi o mesmo observado para a Ds, porém de forma inversa, na qual, menores valores de Ds correspondem a maiores valores de macroporosidade. (Figura 5).

Verifica-se também que nas áreas com culturas anuais (JCPD, SMPD, SMPC) o volume de macroporos é baixo, variando de 0,06 a 0,12 m³ m⁻³, indicando compactação nas duas profundidades, ocasionado pelo uso de máquinas durante as operações agrícolas. É importante destacar a recuperação da macroporosidade no solo com reflorestamento com eucalipto (SMRF), chegando a valores significativamente superiores aos da mata nativa (SMMN), na camada de 0-10 cm, para este local.

Os sistemas SJLV, SJLN, por se tratarem de culturas perenes e até mesmo o sistema SJLA que está em pousio há seis anos, se esperaria uma condição de macroporosidade um pouco mais próxima da mata nativa (SJMN), mas não foi observada essa recuperação, possivelmente em função do histórico de uso intenso dessas áreas com culturas anuais de forma convencional de preparo do solo. Entretanto, de todos os sistemas de uso analisados, considerando a profundidade de 0-10 cm, apenas o SMPD ficou abaixo do limite crítico para o desenvolvimento radicular (0,10 m³ m⁻³) (VOMOCIL & FLOCKER, 1966).

Os valores de microporosidade tiveram uma variação de 0,33 a 0,52 m³ m⁻³ e foram influenciados significativamente pelos sistemas de uso nas duas profundidades e nos três locais de coleta. Os maiores valores foram encontrados nas áreas de mata nativa (JCMN, SMMN e SJMN). Observa-se, também, um aumento significativo na microporosidade do solo na área de Silveira Martins sob sistema de plantio direto (SMPD) quando comparado com o solo sob plantio convencional (SMPC). O sistema de plantio direto após três a quatro anos apresenta maior valor de Ds e microporosidade na camada superficial e menores valores de macroporosidade e porosidade total quando comparado com o plantio convencional (RICHART et al., 2005), em função do arranjo natural do solo não mobilizado e

pela pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas (SILVEIRA & STONE, 2003).

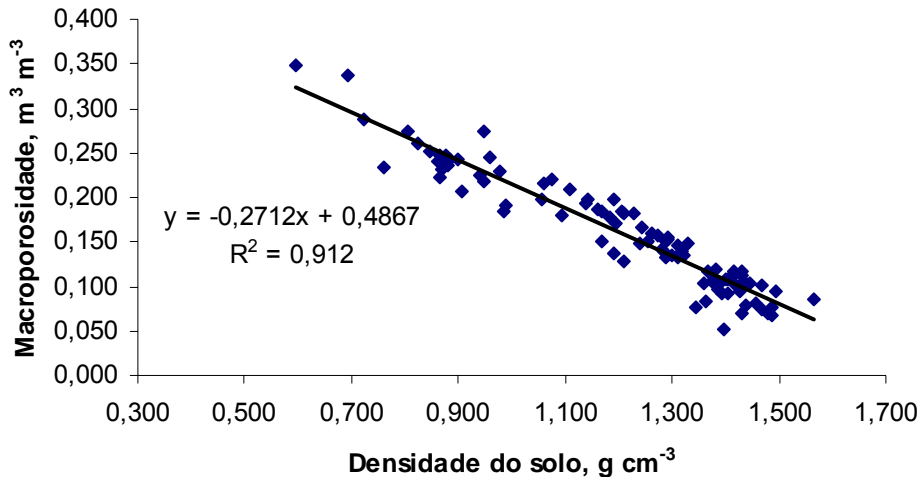


Figura 5 – Relação entre macroporosidade e densidade do solo (profundidade de 0-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.

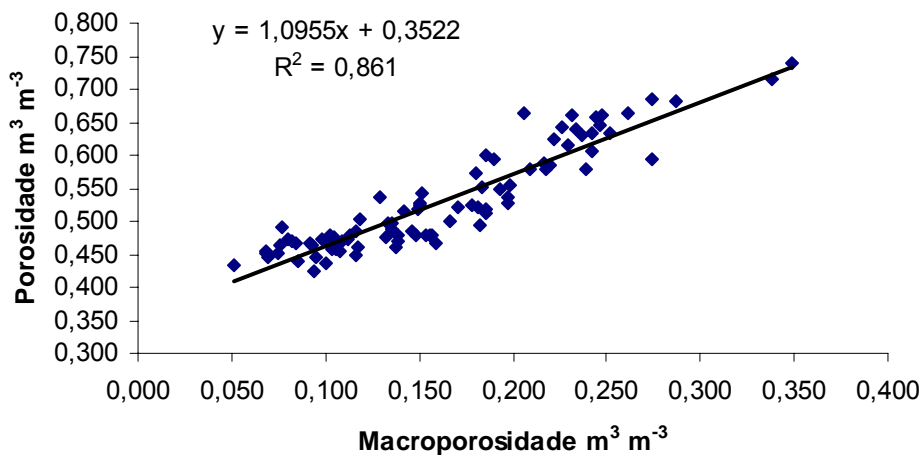


Figura 6 – Relação entre porosidade total e macroporosidade do solo (profundidade de 0-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.

A porosidade total (Pt) se comportou da mesma maneira que os valores da macroporosidade do solo (Figura 6) e inversamente proporcional a D_s , sendo influenciada significativamente pelos diferentes sistemas de manejo, nas duas profundidades e nos três locais avaliados, com os maiores valores sendo

encontrados nas áreas de mata nativa (JCMN, SMMN, SJMN e SJMS). ANJOS et al. (1994) e CAVENAGE et al. (1999) também encontraram associação inversa da Pt com a Ds, ou seja, quanto maior a Ds, menor a Pt. CRUZ et al. (2003), avaliando propriedades físicas de um Argissolo, encontraram na camada de 0-10 cm maior Pt no sistema de plantio convencional (PC) em comparação ao plantio direto (PD) e campo nativo (CN), principalmente em função do efeito imediato causado pelo preparo do solo no PC, possibilitando desta forma o aumento da quantidade de poros e por outro lado, o efeito negativo causado pelo tráfego de máquinas e pelo pisoteio animal, nos sistemas de PD e CN, respectivamente, que tendem a propiciar a diminuição da Pt.

A condutividade hidráulica do solo traduz a maior ou menor facilidade com que a água se deslocada no solo. No presente trabalho, a condutividade hidráulica saturada ($K\theta_s$) teve uma ampla variação entre os sistemas de manejos avaliados, com seus valores variando de 7,1 a 76,5 cm h^{-1} na camada de 0-10 cm e de 2,5 a 56,6 cm h^{-1} na camada de 10-20 cm (Figura 7). Os maiores valores na camada de 0-10 cm foram encontrados nas áreas de mata nativa (JCMN, SMMN, SJMN e SJMS) com diferença significativa entre os sistemas de uso do solo. Na camada de 10-20 cm apenas não houve diferença significativa no solo de Júlio de Castilhos. Segundo MESQUITA & MORAES (2004) a presença de altos valores de $K\theta_s$ pode ser indicativo da presença de “megaporos” nos solos. Estes têm pouca influência nos valores de macroporosidade, mas aumentaram em muito a $K\theta_s$. Segundo esses mesmos autores, além da alta relação com a macroporosidade, a $K\theta_s$ também é influenciada pela porosidade total, microporosidade e densidade do solo.

Em trabalho realizado num Argissolo da região Central do RS, avaliando parâmetros físicos e rendimento de culturas, SUZUKI et al (2007) estabeleceram o limite mínimo de $K\theta_s$ em 1,73 cm h^{-1} visando um bom desenvolvimento das plantas e qualidade dos solos. Para estabelecer este limite, os autores levaram em conta o grau de compactação do solo a fim de chegar à macroporosidade limitante de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (VOMOCIL & FLOCKER, 1966). Considerando o limite mínimo de $K\theta_s$ de 1,73 cm h^{-1} proposto por SUZUKI et al (2007), verifica-se que os solos do presente estudo não apresentam restrições ao desenvolvimento das plantas quando considerado apenas este parâmetro.

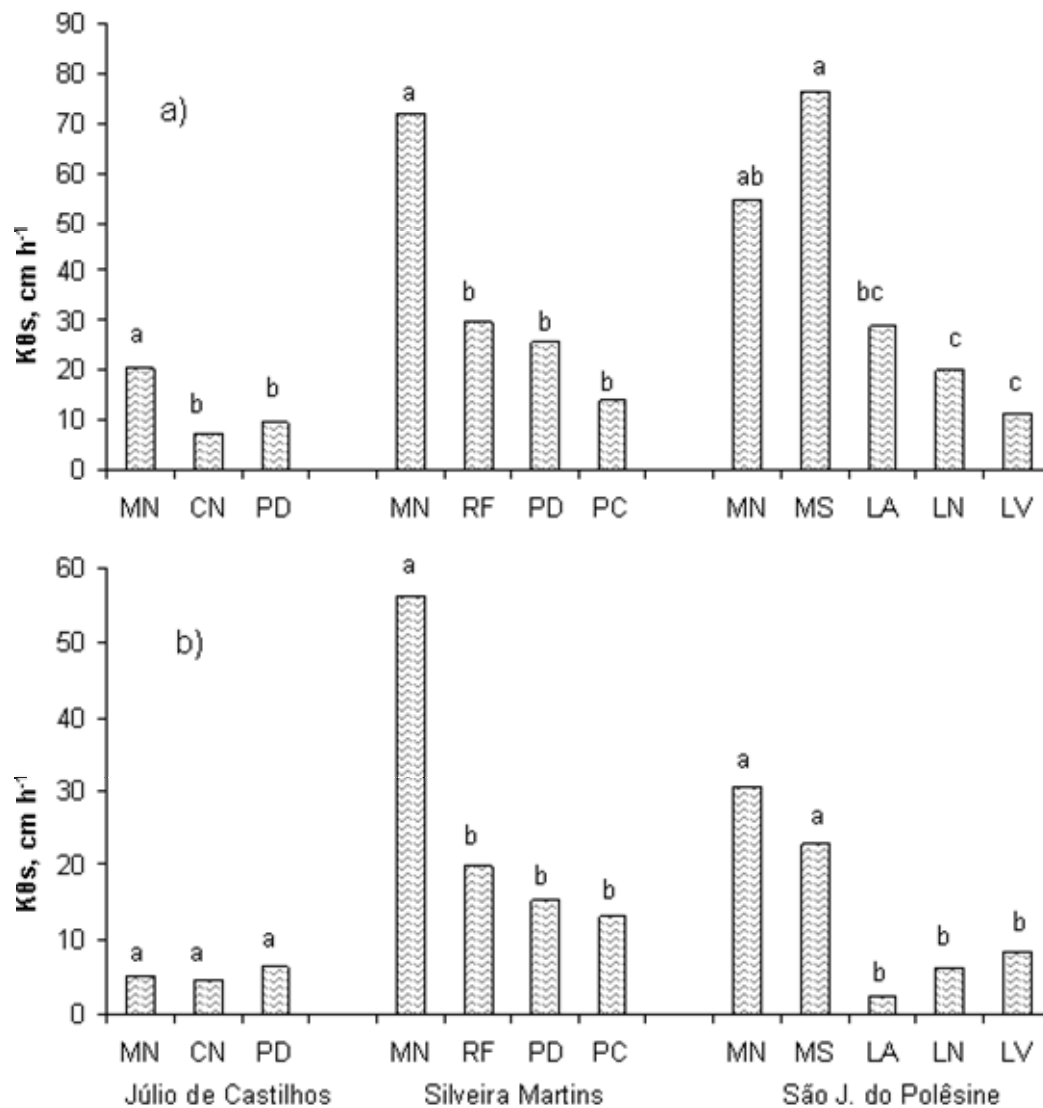


Figura 7 - Condutividade hidráulica do solo saturado ($K_{\theta s}$) nas profundidades de 0-10 (a) e 10-20 cm (b) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. (MN= mata nativa; CN= campo nativo; PD= plantio direto; RF= reflorestamento; PC= plantio convencional)

O DMP de agregados estáveis em água, no solo de Júlio de Castilhos, não teve diferença significativa entre os sistemas de uso, na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 8). Na camada de 10-20 cm, o campo nativo (JCCN) foi significativamente superior aos demais. O IEA também foi maior neste sistema de uso. Uma possível explicação para esses maiores parâmetros de agregação encontrados no campo nativo pode ser devido ao predomínio de gramíneas neste sistema de uso. WENDLING et al (2005) encontraram que a gramínea Tifton

proporcionou um aumento nos índices de agregação do solo, o que também é relatado por SILVA & MIELNICZUK (1997); D'ANDRÉA et al. (2002) e SILVA et al. (2005a). Trabalhando em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo, CRUZ et al. (2003) destacaram a maior densidade de raízes das gramíneas perenes na profundidade de 10-20 cm em campos nativos, melhorando a eficiência na agregação. Neste trabalho não foi encontrado uma boa correlação entre os índices de agregação e a MO (Tabela 9) para este local. No entanto, a MO atua como agente cimentante entre partículas e agregados do solo (BAVER et al, 1973).

Conforme BAYER & MIELNICZUK (1999), após a aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica apresenta importância fundamental como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados. Mesmo não havendo correlação com a MO, observa-se que o sistema de plantio direto proporcionou valores de DMG e MO semelhantes aos da mata nativa, demonstrando desta forma a importância da adoção de práticas culturais adequadas em sistemas agrícolas a fim de manter a qualidade dos solos. REICHERT et al (2003) relatam a importância das plantas de coberturas afetando diretamente a estabilidade estrutural através da ação do sistema radicular nos agregados superficiais e indiretamente através do aumento da MO do solo.

Para o solo de Silveira Martins, houve diferença significativa entre os sistemas de uso, para os valores do DMP, nas duas profundidades. Na camada de 0-10 cm, o maior valor foi encontrado no SMRF, enquanto que no SMPC se encontraram os menores valores. Teores intermediários foram encontrados no SMPD e na SMMN, que não diferiram entre si. Na profundidade de 10-20 cm o menor valor foi encontrado no SMPC. Os demais usos do solo tiveram valores superiores e não diferiram entre si. Os maiores índices de estabilidade de agregados foram encontrados na mata e no reflorestamento. Observa-se que, na mata nativa, o DMP foi baixo, porém a sua estabilidade (IEA) foi alta, podendo ter ocorrido a contribuição da MO para a manutenção destes agregados menores o que pode ser indicado pela alta correlação existente ($R^2=0,69$) entre essas duas variáveis (Tabela 9).

Tabela 8 - Diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA) e grau de floculação (GF) do solo (profundidade de 0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de uso das áreas de estudo.

Uso da terra ⁽¹⁾	DMP ----- mm -----		IEA		GF ----- % -----	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Júlio de Castilhos						
JCMN	3,7 a ⁽²⁾	2,7 b	0,89 b	0,62 b	73 b	66 b
JCCN	4,2 a	3,9 a	1,35 a	1,06 a	91 a	91 a
JCPD	4,0 a	2,7 b	1,08 ab	0,58 b	89 a	90 a
Silveira Martins						
SMMN	2,9 bc	2,2 ab	0,97 a	0,62 a	87 a	86 a
SMPD	3,5 b	2,4 ab	0,58 b	0,27 b	71 c	74 c
SMRF	4,3 a	2,6 a	0,96 a	0,37 ab	75 bc	79 bc
SMPC	2,7 c	1,7 b	0,48 b	0,23 b	79 b	82 ab
São João do Polêsine						
SJMN	3,2 b	2,3 a	0,91 ab	0,58 a	79 a	74 a
SJMS	3,5 ab	2,6 a	0,95 a	0,63 a	75 a	71 ab
SJLN	3,6 ab	2,0 a	1,05 a	0,25 b	68 b	73 ab
SJLV	3,2 b	2,3 a	0,62 b	0,30 b	67 b	71 ab
SJLA	4,0 a	2,1 a	0,94 ab	0,31 b	67 b	69 b

⁽¹⁾ JCMN = Júlio de Castilhos mata nativa; JCCN = Júlio de Castilhos campo nativo; JCPD= Júlio de Castilhos plantio direto; SMMN= Silveira Martins mata nativa; SMRF= Silveira Martins reflorestamento; SMPD= Silveira Martins plantio direto; SMPC= Silveira Martins plantio convencional; SJMN= São João do Polêsine mata nativa; SJMS= São João do Polêsine mata secundária; SJLA= São João do Polêsine lavoura abandonada; SJLN= São João do Polêsine lavoura nova; SJLV= São João do Polêsine lavoura velha.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. A comparação é feita entre os sistemas de manejo para cada local em separado.

Os dois sistemas com utilização agrícola mais intenso do solo (SMPC e SMPD) apresentaram os menores IEA na camada de 0-10 cm. Mas, observa-se um maior valor de DMP no SMPD ao comparar com o SMPC para este local. CASTRO FILHO et al (1998) encontraram valores significativamente maiores de DMP na camada de 0-10 cm de um solo sob sistema de plantio direto, quando comparado com o plantio convencional, atribuindo ao fato do sistema plantio direto proporcionar um incremento no teor de carbono orgânico do solo na camada superficial, graças ao

acúmulo de resíduos vegetais em superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por COSTA et al. (2003), porém utilizando como índice de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG).

Tabela 9 - Coeficientes de correlação linear simples entre o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) com os atributos do solo na profundidade de 0-20 cm nos sistemas de uso das áreas de estudo.

Propriedades intrínsecas do solo ⁽¹⁾	Júlio de Castilhos (JC)			Silveira Martins (SM)			São J. Polêsine (SJ)			Todos Locais		
	DMG	DMP	IEA	DMG	DMP	IEA	DMG	DMP	IEA	DMG	DMP	IEA
A _{RG}	-0,22	-0,35**	-0,45**	-0,42**	-0,46**	-0,37**	-0,36**	-0,36**	-0,49**	-0,07	-0,17*	-0,18**
S	0,14	0,02	-0,06	0,30*	0,36**	0,18	-0,36**	-0,36**	-0,49**	-0,16*	-0,12	-0,24**
A _T	0,04	0,19	0,30*	0,40**	0,35**	0,59**	-0,02	0,03	-0,15	0,40**	0,34**	0,39**
A _F	-0,04	0,12	0,22	0,36**	0,32**	0,48**	0,00	0,04	-0,09	0,36**	0,32**	0,39**
A _G	0,30*	0,32*	0,34*	0,37**	0,30*	0,64**	-0,03	0,02	-0,20	0,43**	0,34**	0,36**
S/A _{RG}	0,32*	0,29*	0,29*	0,37**	0,40**	0,23	0,22*	0,20	0,39**	-0,12	-0,03	-0,02
A _{DA}	-0,02	-0,19	-0,28*	-0,13	-0,09	-0,44**	-0,18	-0,19	-0,41**	-0,10	-0,15	-0,33**
GF	0,03	0,19	0,28*	-0,31**	-0,40**	0,12	-0,15	-0,15	0,11	0,07	0,04	0,24**
MOS	0,32*	0,26	0,15	0,33**	0,35**	0,69**	0,37**	0,36**	0,49**	0,40**	0,38**	0,51**
K	0,19	0,22	0,08	0,39**	0,39**	0,46**	0,36**	0,37**	0,50**	0,34**	0,35**	0,39**
P	0,02	0,08	0,04	-0,04	0,03	0,11	0,25*	0,25*	0,41**	-0,06	0,00	0,02
Ca	0,44**	0,35*	0,19	0,16	0,23	0,02	0,14	0,12	0,23*	0,11	0,14*	0,10
Mg	0,45**	0,39**	0,18	0,21	0,26*	0,10	0,14	0,14	0,33**	0,27**	0,28**	0,23**
pH	0,23	0,34*	0,34*	0,30*	0,35**	-0,04	0,13	0,15	0,22*	0,16*	0,21**	0,14*
Al	-0,50**	-0,45**	-0,29*	-0,30*	-0,37**	-0,18	-0,08	-0,10	-0,14	0,20**	0,13*	0,21**
H+Al	-0,33*	-0,29*	-0,18	-0,33**	-0,40**	-0,09	0,19	0,15	0,04	-0,12	-0,17*	-0,07
CTC _{ef}	0,28*	0,20	0,01	0,02	0,07	-0,07	0,16	0,14	0,28**	0,08	0,08	0,08
CTC _{pH7}	-0,05	-0,06	-0,07	-0,33**	-0,38**	-0,08	0,30**	0,27*	0,35**	-0,04	-0,09	0,01
V%	0,45**	0,39**	0,21	0,18	0,25*	0,00	-0,05	-0,04	0,09	0,05	0,09	0,03
Al%	-0,50**	-0,45**	-0,29*	-0,18	-0,26*	-0,09	0,03	0,02	-0,03	-0,15*	-0,17*	-0,13
Fe _d	-0,02	-0,18	-0,25	-0,43**	-0,45**	-0,42**	-0,02	-0,04	-0,10	0,26**	0,12	1,14*
Fe _o	0,04	-0,12	-0,17	-0,23	-0,15	-0,09	-0,25*	-0,25*	-0,39**	-0,12	-0,16*	-0,23**
Fe _o /Fe _d	0,20	0,13	0,15	0,05	0,13	0,18	-0,25*	-0,23*	-0,38**	-0,32**	-0,24**	-0,33**

⁽¹⁾ A_{RG}= argila; A_{DA}= argila dispersa em água; GF= grau de floculação; MOS= matéria orgânica do solo; A_T= areia total; A_F= areia fina; A_G = areia grossa; S= silte; S/A_{AR}= silte/argila; P= fósforo; K= potássio; Al= alumínio; Ca= cálcio; Mg= magnésio; V%= saturação de bases; Al%= saturação de alumínio; Fe_d= óxido de ferro extraído com solução de ditionito-citrato-bicarbonato; Fe_o= óxido de ferro extraído com solução de oxalato de amônio.

*= significativo a P < 0,05; **= significativo a P < 0,01.

De acordo com WOHLBERG et al. (2004), a prática de deixar o solo descoberto no plantio convencional causa a degradação da sua estrutura pelo impacto das gotas de chuva, pela diminuição da MO e pelo intenso preparo de solo

que causa aumento nos agregados de menor tamanho. A alta quantidade de serrapilheira (verificação visual) existente na área de SMRF, pode ter contribuído com o elevado DMP e IEA deste local. MARTINS et al. (2002), trabalhando com espécies florestais, encontraram valores de DMG semelhantes entre os povoamentos com *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*, mas inferiores aos encontrados na mata nativa, o que discorda com os resultados encontrados em nosso trabalho.

Em São João do Polêsine (SJ) houve diferença significativa, nos valores de DMP apenas na camada de 0-10 cm. (Tabela 8). Os maiores valores nesta camada foram encontrados nas áreas SJLA, SJLV e SJMS com os IEA seguindo essa mesma tendência. De acordo com MARTINS et al (2002), a maior estruturação do solo é condicionada pela maior presença de raízes que liberam exsudatos, elevando os teores de MO do solo por meio da ciclagem bioquímica, contribuindo para uma maior estabilização dos agregados. Observa-se um maior valor de DMP na SJLA e um menor teor de MO neste mesmo local. Possivelmente este maior valor de DMP, pode estar relacionado com a maior Ds encontrado para este local, pois, conforme relatado por CRUZ et al. (2003), a agregação também ocorre em função da compressão das partículas do solo, sem necessariamente ter influência dos mecanismos que contribuem para sua estabilização.

Observa-se, neste trabalho, que em todos os locais de coleta (JC, SM e SJ), o sistema de uso mata nativa, que representa a condição natural do solo, não apresentou os melhores índices de agregação representados pelo DMP. Possivelmente, a baixa densidade do solo encontrada nesses locais possa estar impedindo que ocorra uma maior aproximação e união entre os microagregados a fim de possibilitar a formação de agregados maiores. Embora com os menores valores de DMP, a mata nativa apresentou os melhores IEA em dois locais (SM e SJ), demonstrando, dessa forma, que mesmo predominando agregados pequenos eles se mantiveram estáveis na presença de água, o que é importante para a preservação e manutenção da qualidade dos solos.

O grau de flocculação da argila manteve-se entre 66 e 91% com variações significativas entre os sistemas de uso do solo, em ambas as profundidades e locais de coleta. No solo de JC, os maiores valores foram encontrados no plantio direto e no campo nativo, nas duas profundidades. No solo de SM, os maiores valores foram encontrados na mata nativa, para a profundidade de 0-10 cm e na mata nativa e plantio convencional na camada de 10-20 cm. No solo de SJ, os maiores valores, na

camada de 0-10 cm, foram encontrado nas áreas de mata nativa e mata secundária.

Em todos os locais estudados observa-se que não houve uma tendência de aumento ou diminuição do GF em profundidade. PRADO & NATALE (2003) encontraram os maiores valores de GF em áreas de cerrado nativo e em reflorestamento com *Pinus* ao comparar com áreas de plantio direto para a camada de 0-10 cm. Esses mesmos autores encontraram diminuição nos valores em profundidade, sugerindo o efeito à menor contribuição da MO em subsuperfície. SILVA et al. (2006) não encontraram diferenças no GF na camada de 0-7,5 cm ao comparar diferentes sistemas de uso, mas na camada de 7,5-12,5 cm foram encontrados valores significativamente maiores no campo nativo ao comparar com plantio convencional e preparo reduzido, inferindo que os possíveis fatores reguladores da floculação, para os solos estudados, foram de ordem química e mineralógica. Em trabalho realizado por SILVA et al. (2000), os autores atribuíram que as diferenças entre os sistemas de uso do solo, na camada de 0-20 cm, são atribuídas em função dos teores de MO e também de ferro ligado à fração orgânica e, para a camada de 20-40 cm, a explicação é de aspectos ligados à gênese e mineralogia do solo estudado.

Para avaliar o grau de dependência entre algumas características e parâmetros do solo relacionados com a agregação foi realizada a análise de correlação entre eles, estando apresentados na Tabela 9.

A argila correlacionou-se negativamente com os parâmetros de agregação do solo, não correspondendo com os dados da literatura. A maioria dos trabalhos aponta uma correlação positiva revelando assim o efeito importante da argila na formação e estabilização dos agregados (REICHERT et al., 1993; DUFRANC et al., 2004 e REICHERT et al., 2006). Estudando solos na região dos cerrados no sul do estado do Goiás, D'ANDRÉA et al., (2002) também não encontraram correlação entre o teor de argila e os índices de agregação, indicando que o manejo a que o solo foi submetido nos diferentes sistemas avaliados exerceu maior influência sobre esses atributos.

O silte teve correlação positiva (DMG e DMP) no solo de SM e negativa (DMG, DMP e IEA) em SJ. Quando os locais são agrupados, o DMG e o IEA apresentam correlação negativa. A argila dispersa correlacionou-se apenas com o IEA, nos três locais. A correlação foi negativa, como era de se esperar, já que uma maior dispersão das partículas do solo acarretará numa menor estabilidade de

agregado. Conforme AZEVEDO & BONUMÁ (2004), esta argila tem uma alta mobilidade, dispersando espontaneamente na presença de água.

A fração areia, principalmente a areia grossa, correlacionou-se positivamente com o DMP, DMG e IEA para os locais JC e SM. Quando os locais foram agrupados, os três índices de agregação apresentam correlação positiva, altamente significativa. REICHERT et al (2006), trabalhando com Planossolo na Depressão Central do RS, encontraram correlação tanto positiva como negativa para a fração areia. Quando esses autores utilizam o DMG e DMP obtidos por peneiramento a seco eles encontraram correlação negativa da areia grossa e areia fina com a agregação. A correlação positiva foi encontrada para a fração areia grossa, quando esses autores utilizaram o método a úmido, concordando com os resultados do presente trabalho que também utilizou este mesmo método de determinação para os parâmetros de agregação.

Era de se esperar uma correlação negativa entre a fração areia e agregação, em função da baixa área superficial e de cargas elétricas nesta fração mais grosseira do solo. Mas, segundo DUFRANC et al. (2004), a inclusão da areia grossa entre os agregantes resulta de seu papel como esqueleto de agregação. De acordo com REICHERT et al. (2003), a taxa de aumento da agregação está relacionada com a textura do solo, ao manejo e aos sistemas de culturas adotadas. Segundo estes mesmos autores, a degradação e o processo inverso, que é a recuperação da estabilidade estrutural, são pelos menos duas vezes mais rápidos em solos arenosos do que em solos argilosos.

A MO do solo teve uma correlação positiva com a agregação do solo, nas áreas SM, SJ e também nas amostras totais (Tabela 9) agindo como agente cimentante entre partículas e agregados do solo. Vários autores apontam esta correlação positiva da matéria orgânica com a estabilização dos agregados (REICHERT et al., 1993; D'ANDRÉA et al., 2002; WOHLBERG et al., 2004; WENDLING et al.; 2005). Segundo CASTRO FILHO et al. (1998) é normal encontrar correlação da MO com a agregação pois a MO é um eficiente agente de formação e estabilização dos agregados.

Os cátions K, P, Ca, Mg apresentaram correlações positivas com os índices de agregação do solo, em maiores ou menores proporções. Os valores de pH, CTCef e saturação por bases (V%) também tiveram correlações positivas com os índices. Esses resultados estão de acordo com RUSSEL (1934) apud REICHERT et

al. (1993), afirmando que os agregados se formam somente com partículas de considerável CTC (e alta área superficial específica), e a resistência dos agregados formados depende da natureza dos cátions trocáveis.

Houve um predomínio da correlação negativa com a saturação de alumínio (Al%), Al e H+Al. Resultados semelhantes foram encontrados por DUFRANC et al. (2004), que inferiram que, provavelmente em função da alta concentração destes cátions no solo, tenha ocorrido correlação negativa com a estabilidade dos agregados.

Os óxidos de ferro se correlacionaram negativamente com a agregação do solo. Os óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Fe_o) e a razão Fe_o/Fe_d se correlacionaram com DMP, DMG e IEA do solo de SJ e juntando os três solos. O ferro extraído com solução de ditionito-citrato-bicarbonato teve correlação com o DMP, DMG e IEA do solo de SM. Resultados obtidos por FERREIRA et al. (2007) indicam que a ação dos óxidos de ferro na agregação depende não somente de seus teores e tipos, mas também dos teores de carbono orgânico existente nos solos. A maioria dos trabalhos aponta o Fe como sendo agente agregante do solo (DUFRANC et al., 2004; REICHERT et al., 2006). REICHERT et al (1993) encontraram correlação positiva do ferro amorfo (Fe_o) com o diâmetro médio ponderado a seco, mas não encontraram correlação significativa do Fe_d com nenhum dos índices de estabilidade dos agregados, atribuindo ao fato dos óxidos de ferro estarem presentes normalmente na forma de cristais discretos não contribuindo para a cimentação de partículas de solo.

8. CONCLUSÕES

Os diferentes usos da terra alteraram as características químicas do solo. Sistemas que não recebem adições constantes de fontes externas causaram uma depressão química de nutrientes considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas, como Ca, Mg, P e K.

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, melhoraram ou pelo mínimo mantiveram os níveis de fertilidade se comparados com a vegetação original.

A matéria orgânica do solo foi influenciada pelos sistemas de uso da terra, com diminuição nos teores, conforme aumenta a intensidade de uso. O grupo C-O-alquil foi o grupo de carbono que apresentou a maior contribuição nos espectros de RMN ^{13}C , independente da área e sistema de manejo dos solos, caracterizando uma MO com elevado teor de estruturas tipo carboidratos.

Ocorreram modificações das características físicas do solo influenciada pelos diferentes usos da terra. As principais alterações foram diminuições da macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada e aumento na densidade do solo. Os parâmetros de agregação do solo não se mostraram como bons índices de avaliação para identificar mudanças em função dos diferentes usos do solo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; KÄMPF, N.; KLAMT, E. Amidas e hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 169-175, 1992.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 6, p. 985-1002, nov./dez. 2003.

ALMEIDA, J. A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445, mai./jun. 2005.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 933-942, 1999.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 189-197, 2001.

ANDREWS, S. S. et al. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. **Agronomy Journal**, Davis, v. 94, p. 12-23, 2002.

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, p. 139-145, 1994.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, out./nov. 2007.

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 515-522, jul./ago. 2005.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, mar./abr. 2004.

BALDOCK, J. A. et al. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state ¹³C NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 1061–1083, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia, Região das Encostas Basálticas do RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 108-109, jan./fev. 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BAYER, C. et al. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F. A. O. (ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999. p. 293-336.

BAYER, C. et al. Tillage and cropping system effects on organic matter storage in an Acrisol soil in southern Brasil. **Soil Tillage. Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. México/Buenos Aires; Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973. 529 p.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001.

BERNOUX, M. et al. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical – pastagem de Paragominas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, out./dez. 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 365-371, mar./abr. 2004.

BEWKET, W; STROOSNIJDERB, L. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111. p. 85-98. 2003.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Cristal structures of clay minerals and their X ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.

CANELLAS, L. P. et al. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, mar./abr. 2007.

CASALINHO, H. D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.

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

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, mar./abr. 2007.

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

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 267-270, 1985.

CERETTA, C. A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solos em sistemas de culturas sob plantio direto**. 1995. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) -

Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CERRI, C. C; MORAES, J. F. L de. Conseqüências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: GUERRINI, I.A. **Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções**. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 1992. 203 p.

CLEMENTE, C. A. et al. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 159-168, jan./mar. 2000.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, fev. 2002.

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**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, mai./jun. 2003.

CRUZ, A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1105-1112, 2003.

CUNHA, T. et al. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 27-36, jan./fev. 2001.

CURI, N.; KÄMPF, N.; RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia de solos originados de rochas efusivas das Encostas Superior e Inferior do Nordeste, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 269-276, 1984.

DALMOLIN, R. S. D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsols profiles in a climosequence in southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 644-654, 2006.

D'ANDRÉIA, A.F. et al. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado do Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.1047-1054, 2002.

De BIE, C. A. et al. Em direção à operacionalização das informações dos solos para um manejo sustentável das terras. IN: ALVAREZ, V.V. H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. (Eds) **O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 335-352.

DORAN, J. W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison; Soil Science Society of America, 1994.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, mai./jun. 2004.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAO (Food and Agriculture Organization). **The den Bosh declaration and agenda for action on sustainable agriculture and rural development**. FAO, Rome: 1991. Report of the conference.

_____. **Integrated approach to the planning and management of land resources**. FAO/AGL, Rome: 1994. Third Draft of Task Manager's Report.

FERREIRA, F. P. 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**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2007.

HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, Amsterdam, v. 85, p.:283–306, 1998.

HILLEL, D. Particle sizes and specific surface. In: **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 59-74.

INDA JUNIOR, A. V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: Egon José Meurer. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006, p. 31-61. v. 1.

IPAGRO (Instituto de Pesquisas Agronômicas). **Atlas Agroclimático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:IPAGRO, 1989. 3 v.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties en mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p. 69-78, 2000a.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000b.

KAISER, D. R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KAMINSKI, J. Impactos da atividade humana sobre o solo: Atividades rurais. In: **FÓRUM SOLOS E AMBIENTE**, Santa Maria, Palloti, 2004.

KÄMPF, N.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Latossolos (Oxisols) e Solos Podzólicos da Região Nordeste do Planalto Sul-Riograndense. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 2, p. 68-73, 1978.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: N. CURI; J. J. MARQUES; L. R. G. GUILHERME. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 3, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, p. 1-54.

KEMPER, W. D., CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-509.

KLEIN, V. A. & LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 857-867, 2002.

KNICKER, H.; HATCHER, P. G.; SCARONI, A. W. A. Solid-state ^{15}N NMR spectroscopic investigation of the origin of nitrogen structures in coal. **International Journal Coal of Geology**, Amsterdam, v. 32, p. 255-278, 1996.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

MACHADO, J. A. et al. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, p. 187-189, 1981.

MARTINS, S. et al. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE**, Lavras, v. 8, n. 1, p.32-41, 2002.

MASERA, O.; ASTIER, M.; RIDAURA, S. L. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS**. México: Mundi-Prensa México, S. A de C.V.1999, 110 p.

MEHRA, O. P.; JACKSON, K. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAY AND CLAY MINERALS, 7. Washington, 1958. **Proceedings**. Washington, 1960, p. 317-327.

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

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS**. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 665-674, jul./ago. 2003.

PRADO, R. M.; NATALE W. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, 2003.

PRESTON, C. M. Applications of NMR to SOM analysis: history and prospects. **Soil Science**. v. 161, p. 144–166, 1996.

QUIDEAU, S. A. et al. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, p. 41–60, 2001.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 283-290, 1993.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REICHERT, J. M. et al. Agregação de um Planossolo após um ano sistematizado e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 837-844, mai-jun, 2006.

REICHERT, J. M. et al. 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.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. West Lafayette: Purdue University. 1976. 237 f. Thesis (PhD) - Purdue University, West Lafayette.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicação**. Lavras: ed. UFLA, 2005. 192 p.

REYNOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 85-96, jul./dez. 2003.

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

RUSSEL, E. W. The interaction of clay with water and organic liquid as measured by specific volume changes and its relation to the phenomenon of crumb formation in soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, (Ser. A) 233:361-390, 1934.

SCHAEFER, J.; STEJSKAL, E. O. Carbon-13 nuclear magnetic resonance of polymers spinning at magic angle. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 98, p. 1031-1032, 1976.

SCHNEIDER, E. **Gestão Ambiental Municipal: Preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável**. Disponível em [http://www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/artigos/Gestao Ambiental Municipal.pdf](http://www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/artigos/Gestao_Ambiental_Municipal.pdf). Acesso em 08 jul. 2006.

SCHMIDT, M. W. I.; KNICKER, H.; HATCHER, P. G. Improvement of ^{13}C and ^{15}N CPMAS NMR spectra of bulk soils, particle size fractions and organic material by treatment with 10% hydrofluoric acid. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 48, p. 319-328, 1997.

SCHRÖDER, P. et al. Land use and sustainability: FAM research network on agroecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 105, p. 155-166, 2002.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des boden durch photochemische extraktion mit saurer ammoniumoxalat-lösung. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkund**, Weinheim, v. 105, p. 194-202, 1964.

SEQUINATTO, L. **Insustentabilidade do uso do solo com fumicultura em terras declivosas**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, L. A. B. **Análise de agroecossistemas em uma perspectiva de sustentabilidade. Um estudo de sistemas de cultivo de pêsego na região da Encosta Superior do Nordeste do RS**. 1998. 141 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia Alto do Rio Grande-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005a.

SILVA, M. A. S. da. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 544-552, mai./jun. 2005b.

SILVA, M. A. S. da; et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 327-337, mar./abr. 2006.

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.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p.133-139, jan./fev. 2003.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, nov./dez. 2003.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. 2004. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: Genesis, composition, and reaction. 2. ed. New York: J. Wiley & sons, 1994. 496 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 127 p.

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.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, ago. 2007.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TEDESCO, M. J.; et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de solos, 5).

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 196 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós Graduação Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 4, p. 242-246, 1966.

WANG, J. et al. Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China. **Catena**. v. 54, p.17–29, 2003.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, mai., 2005.

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, set./out. 2004.