

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

LUIZ PAULO RAUBER

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E FRAÇÕES
GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM SOLO EM
SISTEMAS DE USO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS

LAGES – SC

2011

LUIZ PAULO RAUBER

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E FRAÇÕES
GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM SOLO EM
SISTEMAS DE USO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

LAGES – SC

2011

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Rauber, Luiz Paulo

Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistemas de uso com fertilizantes orgânicos / Luiz Paulo Rauber ; Orientador: Álvaro Luiz Mafra. – Lages, 2011.
64f.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC

1. Dejeito suíno. 2. Cama de aves. 3. Carbono orgânico.
 4. Carbono orgânico particulado. 5. Atributos físicos e químicos.
- I. Título.

CDD – 631.4

LUIZ PAULO RAUBER

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E FRAÇÕES
GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM SOLO EM
SISTEMAS DE USO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: ___/___/____.

Homologado em: ___/___/____.

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Álvaro Luiz
Mafra (UDESC/Lages - SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Manejo do Solo e Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias – UDESC/Lages – SC

Co-orientador/Membro: Dr. Jackson
Adriano Albuquerque (UDESC/Lages - SC)

Dr. Cleimon Eduardo Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Membro: Dr. Juliano Corulli Corrêa
(EMBRAPA – Suínos e Aves)

Lages, 16 de Fevereiro de 2011

“Assim como uma planta deve enfrentar muitos obstáculos antes de se transformar numa árvore, nós precisamos experimentar muitas dificuldades no caminho da vitória.”
(Nitiren Daishonin)

Aos meus pais que me oportunizaram mais esta conquista. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as “forças” que me foram concedidas para conquistar mais esta vitória.

Agradeço especialmente a meus pais, pela paciência e incentivo.

Ao prof. Álvaro, pela disposição em desenvolver este trabalho, além de sempre mostrar-se sereno e disposto para qualquer auxílio.

Agradeço à Andréia Patrícia, pelo companheirismo durante o desenvolvimento do trabalho e por ter auxiliado durante o desenvolvimento das análises, trabalhos e na elaboração da dissertação.

Aos meus colegas da pós-graduação por todas as horas de estudos, conversas e nossos “happy hour” durante este período.

À minha colega e amiga Ariane, pela nossa determinação em nossos estudos durante a reta final.

À UDESC- CAV e ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias, a todos os professores e funcionários.

Ao pesquisador Juliano C. Correa da Embrapa Suínos e Aves, pela parceria no desenvolvimento do trabalho.

Ao pesquisador Milton da Veiga da Epagri-Campos Novos pela utilização do equipamento penetrômetro de bancada.

Ao prof. Jackson pela co-orientação.

Ao Sr. Belarmino Romani, por se mostrar disposto em abrir as “portas” de sua propriedade para este estudo.

À CAPES pela bolsa concedida.

Aos bolsistas e voluntários.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

RAUBER, Luiz Paulo. **Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistemas de uso com fertilizantes orgânicos**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

A produção de suínos gera grande volume de resíduos, os quais podem ter impactos positivos e negativos sobre o solo depende das condições de uso e das quantidades de dejetos adicionadas. Neste estudo avaliou-se o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos sobre características físicas e químicas do solo e o fracionamento do carbono orgânico em um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia - SC, abrangendo diferentes usos do solo com aplicação de dejetos suínos e cama de aves, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem azevém (P3 anos); pastagem azevém (P15 anos); pastagem perene (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0 anos). Oito amostras de solo foram coletadas em cada área, de forma sistemática em transecto, com pontos espaçados de 10 metros entre si. A amostragem foi realizada em setembro de 2009 em três camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm. As determinações foram estabilidade de agregados; grau de floculação; densidade do solo e de partículas; micro; macro; porosidade total; curva de retenção de água; água disponível; resistência a penetração; P e K; pH CaCl₂; teor de carbono orgânico total, particulado, associado aos minerais e carbono protegidos pelos agregados. Os diferentes sistemas de uso do solo com fertilizantes orgânicos de suínos e, ou, cama de aves reduziram o estoque de carbono, principalmente a fração associada aos minerais. Dentre as áreas que recebem os fertilizantes orgânicos de suínos e aves, P3 apresentou o maior estoque de carbono, enquanto que para o carbono presente nos agregados as áreas M7, P3 e EM20 apresentaram os maiores valores nas três classes de agregados.

Palavras-chave: Dejeito suíno. Cama de aves. Carbono orgânico. Carbono orgânico particulado. Atributos físicos e químicos.

ABSTRACT

RAUBER, Luiz Paulo. **Soil physical and chemical properties and granulometric fractions of organic matter under soil use systems with organic fertilizers**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

Swine production generates large volumes of slurry which can have positive and negative impacts on soil depending on use conditions and quantities of slurry added. This study evaluated the effect of organic fertilizer on physical and chemical properties and fractions of soil organic carbon in an Alfisol, in Concórdia - SC, Southern Brazil, under different soil systems with application of pig slurry and poultry litter, namely: maize for silage (M7 years), maize for silage (M20 years), annual ryegrass pasture (P3 years), annual ryegrass pasture (P15 years), perennial pasture (PP20 year) mate (EM20 years); native forest (NF) and native pasture without manure application (P0 years). Eight soil samples were collected in each area in a systematic transect with points spaced 10 meters apart. Sampling was conducted in September 2009 at three layers 0-5, 5-10 and 10-20 cm. The determinations were aggregate stability, flocculation, soil and particle density, micro, macro, porosity, water retention curve, water availability, resistance to penetration, P, K and Na, pH CaCl₂, total organic carbon particulate carbon, associated with minerals and protected by the aggregates. Different soil use systems with organic fertilizers pig slurry or poultry litter reduces the carbon stocks, especially the fraction associated with minerals. Among the areas receiving organic fertilizer from pigs and poultry, P3 showed the highest carbon stocks, while for the carbon associated with aggregates, the areas M7, P3 and EM20 had the highest values in the three classes of aggregates.

Keywords: Pig manure. Poultry litter. Organic carbon. Particulate organic carbon. Chemical and physical attributes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização quanto à cor úmida e granulometria de um solo submetido a diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves	23
Tabela 2 -	Características das áreas estudadas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves em um Nitossolo Vermelho Eutrófico	24
Tabela 3 -	Diâmetro médio ponderado e grau de floculação de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.....	28
Tabela 4 -	Coeficientes de correlação Pearson entre os atributos do solo, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos.....	28
Tabela 5 -	Valores de densidade do solo, porosidade total, volume de bioporos, macroporosidade e microporosidade, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.	31
Tabela 6 -	Resistência à penetração do solo (RP) com umidade volumétrica (UV) equilibrado no potencial matricial de 6 kPa num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.	33
Tabela 7 -	Valores médios da umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), 1kPa, 6 kPa, 10kPa (CC), 30 kPa, 100 kPa, 300kPa, 500kPa e 1.500kPa (PMP) na média da profundidade de 0-20 cm das áreas sob diferentes sistemas de uso e aplicação de fertilizantes orgânicos de dejetos suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.	34
Tabela 8 -	Água disponível num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.....	36
Tabela 9 -	Teores de COT em áreas com sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.....	37

Tabela 10 -	Teores de P, K e pH (CaCl ₂) em áreas com sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.	39
Tabela 11 -	Concentração de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.	47
Tabela 12 -	Estoque de carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado aos minerais (Cam), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico	48
Tabela 13 -	Diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico total em agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,75 mm (COTa), 4,75 e 2 mm (COTb) e inferior a 2,0 mm (COTc) em três camadas em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Curvas de retenção de água no solo na média da profundidade de 0-20 cm, ajustadas ao modelo de Van Genuchten, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves (M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação de dejetos; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa), num Nitossolo Vermelho Eutrófico. Obs: CC - capacidade de campo e PMP - ponto de murcha permanente..... 34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	SUINOCULTURA NO BRASIL	15
2.2	INFLUÊNCIAS DA MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	16
3	CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE UM SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SUÍNOS E AVES	19
3.1	RESUMO	19
3.2	ABSTRACT	20
3.3	INTRODUÇÃO	21
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.4.1	Descrição do local.....	22
3.4.2	Características dos tratamentos.....	22
3.4.3	Amostragem de solo.....	23
3.4.4	Análises físicas e químicas	25
3.4.5	Análise estatística.....	26
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.5.1	Atributos físicos.....	27
3.5.2	Atributos químicos.....	36
3.6	CONCLUSÕES.....	40
4	CAPÍTULO II - FRACIONAMENTO GRANULOMÉTRICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COM DIFERENTES SISTEMAS DE USOS DO SOLO COM FERTILIZANTES DE SUÍNOS E CAMA DE AVES	41
4.1	RESUMO	41
4.2	ABSTRACT	42
4.3	INTRODUÇÃO	43
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.4.1	Descrição do local.....	44
4.4.2	Características dos tratamentos.....	45
4.4.3	Amostragem de solo.....	45
4.4.4	Análises químicas.....	45
4.4.5	Análise estatística.....	46
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.5.1	Carbono orgânico total e particulado.....	46
4.5.2	Carbono protegido por agregados.....	50
4.6	CONCLUSÕES	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	60
ANEXO 1 - Erva Mate 20 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos (EM20); Pastagem Perene 20 anos (PP20); Pastagem com 15 anos (P15); Pastagem com 3 anos (P3).....	60
ANEXO 2 - Pastagem sem aplicação de fertilizantes orgânicos (P0); Milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos (M20); Milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos (M7); Mata Nativa (MN)	61
ANEXO 3 - Curva de retenção de água, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves (M7: milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação de dejetos; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa) num Nitossolo Vermelho Eutrófico, incluindo as camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.	62
ANEXO 4 - Valores médios da umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), 1 kPa, 6 kPa, 10kPa (CC), 30 kPa, 100 kPa, 300kPa, 500kPa e 1.500kPa (PMP) em três camadas das áreas sob diferentes sistemas de usos e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico	63
ANEXO 5 - Parâmetros referentes à equação de Van Genuchten, nos diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves, num Nitossolo Vermelho Eutrófico, para as três camadas avaliadas, no qual, os valores extremos de umidade foram fixados em: 0 kPa (umidade saturado: Θ_S) e 1.500 kPa (umidade residual: Θ_R).	64
ANEXO 6 - Parâmetros referentes à equação de Van Genuchten, nos diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico, na média da profundidade de 0-20 cm, na qual, os valores extremos de umidade foram fixados em: 0 kPa (umidade de saturação: Θ_S) e 1.500 kPa (umidade residual: Θ_R).	64

1 INTRODUÇÃO

Tanto a suinocultura como a avicultura são atividades em franca expansão no Brasil, sendo tradicionalmente desenvolvido na região Sul. Essas atividades produzem grandes quantidades dejetos que merecem atenção quanto ao descarte ou utilização na agricultura. Estes resíduos tornam-se um problema à medida que aumenta a escala e a concentração da produção em algumas regiões, como por exemplo, no oeste de Santa Catarina. Diante dessa preocupação, deve-se levar em consideração o descarte desses resíduos nos solos agricultáveis.

Entretanto se estes fertilizantes orgânicos forem utilizados com critérios técnicos, permitirão o fornecimento de nutrientes às plantas, além de trazer benefícios dos materiais orgânicos, os quais podem favorecer a qualidade do solo, e como consequência o aumento da produtividade, permitindo desta forma benefícios agronômicos, sociais, econômicos e ambientais. Mas, para isso há a necessidade do monitoramento do solo agrícola, para verificar possíveis alterações ambientais, como pro exemplo o estoque de carbono orgânico no solo.

Com o manejo dos resíduos de suínos e aves existe a possibilidade de recuperação de áreas que estejam degradadas, uma vez que o resíduo poderá melhorar atributos do solo, conforme maior o tempo de aplicação.

Nos estudos que envolvem as relações agricultura e meio ambiente é crescente a necessidade de adoção de critérios que possam avaliar de forma correta, as condições atuais bem como as ideais dos compartimentos do agroecossistema. Entre estas formas pode-se destacar o fracionamento granulométrico do carbono, o qual trará uma idéia de seu estoque ao longo do tempo em função do uso do solo.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi analisar as características físicas, químicas e o fracionamento granulométrico do carbono orgânico em um Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUINOCULTURA NO BRASIL

Desde meados dos anos 1970 a suinocultura e a avicultura brasileira deixaram de ser uma atividade típica complementar, transformando-se numa moderna cadeia produtiva que opera com altos índices de produtividade integrada a um pujante complexo industrial. A primeira transformação foi o resultado da consolidação do sistema de produção em regime de integração que se instalou, primordialmente no sul do país, estendendo-se para outras áreas.

Estas atividades apresentam reconhecida importância econômica e social para o Brasil, além ter um crescimento a passos largos nos últimos anos no cenário mundial. De acordo com a Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS, 2009), o Brasil destaca-se em quinto lugar com produção de 3,13 milhões de toneladas, superado pela China, em primeiro lugar com 61,15 milhões, seguido dos Estados Unidos com 9,95 milhões e em seguida de países europeus como Alemanha com 4,67 milhões e Espanha com 3,22 milhões. Dentre as regiões produtoras no Brasil, destaca-se a região Sul, onde Santa Catarina possui um rebanho de 6,2 milhões de cabeças, onde a região oeste concentra-se 79% do rebanho (4,8 milhões), 7,8% no sul e 13,2% nas demais regiões (SEGANFREDO, 2007).

Sistemas de produção de animais confinados caracterizam, por serem unidades restritas de criação com aumento na escala de produção, gerando em muitos casos problemas ambiental nas regiões produtoras, em virtude da alta geração de resíduos, que na maioria das situações tem-se como destino o solo. Segundo Seganfredo (2007), na região oeste de Santa Catarina a maior parte da produção é em pequenas propriedades, onde 94% possuem menos de 50 ha e 70% destas possuem menos que 20 ha.

Na prática, ocorrem situações em que se tenha um excesso de elementos no solo (nutrientes, metais e patógenos), tornando difícil a absorção à mesma taxa em que esses

elementos são aplicados. Esse fato acarreta a lixiviação ou a percolação desses resíduos para corpos de água superficiais e subterrâneos, causando a poluição destes ambientes.

2.2 INFLUÊNCIAS DA MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

Em ecossistemas naturais a degradação dos solos inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subsequentes, removendo a matéria orgânica e os nutrientes que não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo (SOUZA e MELO, 2003).

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (ZINN et al., 2005; STEVENSON, 1994). Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em consequência, a intensa atividade microbiana propiciam a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (SILVA e MACHADO, 2000). Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam rompimento dos macroagregados, mediante a redução da proteção física da MOS e expondo a processos microbianos.

A degradação do solo sob a atividade agrícola no mundo, com destaque para países tropicais em desenvolvimento, despertou interesse por formas sustentáveis de produção agrícola. Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos, um deles, define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra (DORAN e PARKIN, 1994).

Larson e Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas, que acompanhadas ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo, onde o carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica do solo encontram-se entre essas variáveis.

O teor de COT depende, essencialmente, do aporte de resíduos e dos processos de decomposição/mineralização da MOS. Em contraste com o processo de degradação ocorre, concomitantemente, o processo de preservação, com alterações nos resíduos orgânicos, originando compostos coloidais relativamente estáveis, com tempo de residência médio que são as substâncias húmicas (NOVAIS et al., 2007).

Com relação às fases de formação, acúmulo, equilíbrio e destruição da matéria orgânica em um solo Kiehl (1985) salienta que durante a formação do solo, a vegetação natural acrescenta matéria orgânica até que se estabeleça um equilíbrio e o conteúdo permaneça constante. Com a retirada da mata e a utilização dessas áreas com culturas ocorre um desequilíbrio drástico, reduzindo o teor de matéria orgânica. Havendo adições de material orgânico ao solo ocorre alteração do equilíbrio com aumento do teor de matéria orgânica do solo.

Em geral, os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e espaço poroso, melhores do que os antropogênicos. Nessa situação, o volume de solo que as raízes podem explorar é grande, entretanto, à medida que os solos vão sendo manejadas, consideráveis alterações físicas vão ocorrendo de modo a prejudicar o desenvolvimento das culturas (ANDREOLA et al., 2000).

Solos sem a influência antrópica, o estoque de carbono é determinado, principalmente, por condições climáticas e pelo tipo de solo, devido à influência desses fatores nas taxas de adição e de perda (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

Segundo Kiehl (1985), a incorporação da matéria orgânica nos solos, na forma de esterco animal ou de compostos orgânicos, aumenta a capacidade de troca catiônica e proporciona a melhoria na estrutura, caracterizada pela diminuição de densidade do solo, aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água, além de aumentar direta e indiretamente a capacidade do solo de armazenar água.

Entre as adubações orgânicas para o fornecimento de nutrientes ao solo, a aplicação de dejetos de suínos vem se destacando para adubação de diversas culturas e na recuperação de áreas degradadas. Sua utilização na agricultura toma importância ainda maior em razão do aumento do rebanho de suínos ao longo dos anos e,

principalmente, nas áreas de produções concentradas próximas as agroindústrias, a qual possibilita volumes grandes de dejetos (SEGANFREDO, 2007).

3 CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SUÍNOS E AVES.

3.1 RESUMO

O impacto do uso de dejetos suínos e cama de aves sobre o solo depende das condições de uso e das quantidades adicionadas. Neste estudo avaliou-se o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos em diferentes áreas e tempos de aplicação sobre atributos físicos e químicos de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia, SC. Os tratamentos abrangeram diferentes usos do solo com aplicação de dejetos suínos e cama de aves, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem de azevém (P3 anos); pastagem de azevém (P15anos); pastagem perene (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0 anos). As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm. As propriedades avaliadas foram estabilidade de agregados, grau de flocculação, densidade do solo e de partículas, micro, macro, porosidade total, resistência à penetração, P, K, teor de carbono orgânico total e pH CaCl₂. A estabilidade de agregados foi alta, com diâmetro médio ponderado dos agregados superior a 4,8 mm. A disponibilidade de água foi maior nas áreas P3 e MN. A porosidade total apresentou correlação negativa com a densidade e todos os sistemas de uso do solo não atingiram o limite de compactação de 2000 kPa. O uso do solo e a aplicação de fertilizantes orgânicos alteraram o teor de COT em relação a MN, sendo PP20 a área com maior tempo de aplicação de fertilizantes e sem mobilização do solo que teve o maior valor de COT. Os teores de P e K foram influenciados pela aplicação de fertilizantes orgânicos.

Palavras-Chave: Biofertilizantes. Atributos físicos. Atributos químicos.

3.2 ABSTRACT

The impact of the use of pig slurry and poultry litter in soil depends on the conditions of use and the amounts added. This study evaluated the effect of organic fertilizers at different areas and application times on physical and chemical properties of an Alfisol, in Concordia, SC, Southern Brazil. The treatments consisted of different soil uses with application of pig slurry and poultry litter, namely: maize for silage (M7 years), maize for silage (M20 years), annual ryegrass pasture (P3 years), annual ryegrass pasture (P15anos), perennial pasture (PP20 year) mate (EM20 years), native forest (NF) and native pasture without manure application (P0 years). Soil samples were collected in the layers of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. The evaluated soil properties were aggregate stability, flocculation, soil and particle density, micro, macro and total porosity, penetration resistance, P, K, total organic carbon content and pH CaCl₂. The aggregate stability was high, with mean weight diameter higher than 4.8 mm. Water availability was higher in the areas P3 and MN. Total porosity had negative correlation with soil density and all soil use systems did not reach the limit of resistance of 2000 kPa. Soil use and application of organic fertilizers changed the total organic carbon (TOC) content compared to NF, and PP20 area with longer time of fertilizer application and no tillage had the highest content of TOC. The levels of P and K were influenced by the application of pig slurry and poultry litter.

KEY WORDS: Biofertilizer. Physical properties. Chemical properties.

3.3 INTRODUÇÃO

A suinocultura e a avicultura são algumas das principais atividades agropecuárias em pequenas e médias propriedades rurais de Santa Catarina, com destaque para as regiões oeste e sul do Estado. A utilização de fertilizantes orgânicos de dejetos suínos e cama de aves é uma prática usada pelos agricultores como forma de descarte destes resíduos da agroindústria, lembrando que se adequadamente utilizados, aumentam a fertilidade do solo, além de melhorar os atributos físicos do solo (SEGANFREDO, 2007).

Nos solos tropicais e subtropicais a matéria orgânica (MOS) tem grande importância nas propriedades do solo. A manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica do solo pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com mínimo, ou nenhum, revolvimento e adição de resíduos orgânicos, resultando em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de MO ao solo (DUFRANC et al., 2004), sendo que esta é diretamente relacionada com a qualidade física dos solos (BRANCALIÃO e MORAIS, 2008).

A principal característica física do solo afetada pelo uso de fertilizantes orgânicos e como consequência a matéria orgânica é a agregação, sendo que a estabilidade destes decorre da aproximação e cimentação das partículas do solo mediante atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo (SILVA et al., 2006; BRANCALIÃO e MORAIS, 2008).

Entre as propriedades químicas alteradas pelo uso de fertilizantes orgânicos, entre eles o dejetos líquido dos suínos e a cama de aves, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, além da complexação de elementos tóxicos e micronutrientes. A capacidade de troca de cátions (CTC), também é influenciada, onde a fração húmica da MOS apresenta cerca de 800 a 400 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Aumentando o poder

tampão do solo, e a retenção de nutrientes evitando perdas por lixiviação (SANTOS et al., 2008).

O objetivo deste estudo foi avaliar as modificações das propriedades físicas e químicas do Nitossolo Vermelho Eutrófico, com diferentes sistemas de uso do solo com aplicação de fertilizantes orgânicos a base de dejetos suínos e cama de aves.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Descrição do local

O estudo foi realizado em Concórdia, SC, em áreas selecionadas conforme uniformidade de relevo, profundidade, granulometria e cor do solo (Tabela 1), próximas entre si, sendo o solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico.

O clima é classificado como subtropical úmido, (Cfa) de acordo com a classificação de Köppen, sendo que os meses mais frios têm temperaturas médias acima de 10°C, e os meses mais quentes temperatura média acima de 23°C. A precipitação média anual é elevada, geralmente em torno de 2.000 mm, bem distribuídos ao longo do ano (SANTA CATARINA, 1991).

3.4.2 Característica dos tratamentos

Os sistemas de uso do solo consistiram em áreas consolidadas de diferentes formas de cultivo com aplicação de fertilizantes orgânicos a base de dejetos de suínos e cama de aves, no modo tradicional de descarte, abrangendo oito tratamentos, a saber, (Tabela 2): milho para silagem com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos (M7); milho para silagem com 20 anos de aplicação (M20); pastagem anual com 3 anos de aplicação (P3); pastagem anual com 15 anos de aplicação (P15); pastagem perene com 20 anos de aplicação sem pastejo (PP20); erva mate com 20 anos de aplicação (EM20); e mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0).

Tabela 1 - Caracterização quanto à cor úmida e granulometria de um solo submetido a diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.

Tratamento	Profundidade	Cor úmida	Areia	Silte	Argila ^{(2)*}
	-----cm-----		-----g kg ⁻¹ -----		
M7	0-20	10 R 3/6	81	386	532
	20-40	10 R 3/4	59	325	615
	40-60	10 R 3/4	68	285	646
M20	0-20	10 R 3/6	47	354	597
	20-40	10 R 3/6	31	193	775
	40-60	10 R 3/6	38	194	768
P3	0-20	10 R 3/6	74	404	521
	20-40	10 R 3/4	84	326	589
	40-60	10 R 3/6	109	257	633
P15	0-20	10 R 3/6	60	363	576
	20-40	10 R 3/4	37	239	723
	40-60	10 R 3/4	39	230	731
PP20	0-20	10 R 3/6	42	323	633
	20-40	10 R 3/4	30	214	755
	40-60	10 R 3/4	37	225	737
EM20	0-20	10 R 3/6	78	343	585
	20-40	10 R 3/4	52	222	725
	40-60	10 R 3/6	60	257	682
MN	0-20	10 R 3/6	130	468	401
	20-40	10 R 3/6	91	297	612
	40-60	10 R 3/6	163	376	460
P0	0-20	10 R 3/6	120	395	484
	20-40	10 R 3/4	116	364	519
	40-60	10 R 3/6	174	322	504

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa.

⁽¹⁾ Determinada pela comparação visual utilizando a carta de Munsell.

⁽²⁾ Determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

* Amostra composta por três sub amostras.

3.4.3 Amostragem de solo

O delineamento utilizado é amostral, com coletas de oito amostras em cada área, realizadas de forma sistemática em transecto, com pontos espaçados de 10 metros entre si. A coleta das amostras foi realizada em setembro de 2009, em três camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm, mediante abertura de trincheira de 20 x 20 cm.

No momento da coleta, as áreas P3, P15 e M20 apresentavam no solo o cultivo de aveia e azevém, em estágio fonológico vegetativo e a presença dos animais nas áreas.

Para a área M7 no solo tinha-se o cultivo de milho em estágio V6 e EM20 tinha-se o cultivo nas entrelinhas plantas de azevém em pleno florescimento.

Tabela 2 - Características das áreas estudadas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves em um Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Sistema de uso e manejo	Símbolo	Descrição/Histórico
Milho- 7 anos	M7	Área: 4 ha; cultivo de milho para silagem (2 safras anuais), com 7 anos de aplicação de dejetos de suínos; a cada 2 meses; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; semeadura direta e pousio no inverno.
Milho- 20 anos	M20	Área: 3 ha; cultivo de milho para silagem (2 safras anuais), 20 anos de aplicação de dejetos de suínos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; preparo convencional do solo; cultivo de azevém no inverno; 5t/ha de calcário realizado no ano de 2008.
Pastagem anual- 3anos	P3	Área: 1 ha; adubação com dejetos durante 3 anos a cada 3 meses; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; cultivo de aveia e azevém no inverno e no verão milheto e capim Sudão; não recebe adubação mineral; uma escarificação anual; Lotação: 35-40 bovinos de leite/ha.
Pastagem anual- 15 anos	P15	Área: 2 ha; adubação com dejetos de suínos durante 15 anos, a cada 3 meses; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; cultivo de aveia e azevém no inverno e no verão milheto e capim sudão; uma escarificação anual; Lotação: 35-40 bovinos de leite/ha.
Pastagem perene- 20 anos	PP20	Pastagem perene de azevém, aveia e nabo sem pastejo e sem preparo do solo; aplicação de dejetos há 20 anos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano) nos primeiros 10 anos; sem aplicação de fertilizante mineral.
Erva mate- 20 anos	EM20	Cultivo de erva mate e azevém nas entrelinhas; sem pastejo; aplicação de dejetos de suínos na entrelinha ha 20 anos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano) nos primeiros 10 anos;
Mata nativa	MN	Mata nativa sem interferência antrópica.
Pastagem nativa- 0 anos	P0	Área: 2 ha; Pastagem nativa, com pastejo; sem aplicação de fertilizantes orgânicos. Lotação:35-40 bovinos/ha.

Para as análises físicas do solo coletou-se amostras com estrutura preservada em cilindros de aço com 5 cm de diâmetro, de 2,5 cm de altura para as duas profundidades superiores, e anéis de 5 cm de altura para a profundidade inferior, introduzidos verticalmente até a metade da camada, e no entorno, coletou-se amostras de solo com estrutura alterada com espátula para as três profundidades, acondicionados em sacos plásticos, para avaliação da estabilidade de agregados.

As coletas para análises químicas, com o auxílio de um trado calador, foram feitas em 10 pontos (sub-amostras), próximos do local de coleta dos anéis. Para cada camada, o solo foi coletado com espátula, homogeneizado, acondicionado em sacos plásticos e levado ao laboratório onde foi destorroado, seco ao ar e moído.

3.4.4 Análises físicas e químicas

Nas amostras de solo com estrutura alterada foi determinada a estabilidade de agregados pelo peneiramento úmido, em amostras destorroadas e tamisadas entre 4,76 e 8,35 mm, de acordo com a metodologia de Kemper e Chepil (1965), sendo o aparelho composto por quatro peneiras (4,75; 2,00; 1,00 e 0,25 mm). Os agregados representadas pelo diâmetro médio ponderado (DMP), com os agregados secos a 60 °C, para posterior determinação do carbono orgânico em cada classe de agregados.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, determinando-se argila total com dispersante NaOH e argila natural, dispersa em água (EMBRAPA, 1997). O grau de floculação foi calculado mediante as quantidades de argila natural e total.

A densidade do solo (D_s) foi determinada, em amostras com estrutura preservada, pelo método do anel volumétrico. As amostras foram secas, após as determinações de bio, macro e microporos, em estufa a 105 °C durante 48 horas. A densidade do solo foi determinada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume conhecido da amostra. A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

O volume de bioporos foi determinado na mesa de tensão de areia à sucção de 1 kPa, enquanto que o volume de microporos à sucção de 6 kPa. A porosidade total (PT) foi calculada pela razão entre a densidade do solo e a densidade de partículas (D_s/D_p). A macroporosidade foi obtida pela diferença entre PT e microporosidade. (EMBRAPA, 1997).

A curva característica de água do solo foi determinada utilizando-se mesa de tensão de areia para os potenciais de 1, 6 e 10 kPa e câmara de Richards com placas de cerâmica porosas para os potenciais de 30, 100, 500 e 1.500 kPa, obtendo-se a umidade volumétrica presente em cada tensão aplicada. Com estes potenciais determinados, procedeu-se com o ajuste das curvas de retenção de água baseado no modelo proposto por Van Genuchten (1980), efetuado pelo método que considera a umidade volumétrica

saturada ($\Theta_s = \Theta_{\max.}$), com $\psi_m = 0$ kPa, e umidade volumétrica residual ($\Theta_r = \Theta_{\min.}$), com $\psi_m = 1.500$ kPa, através do software Sigma Plot 11.0®.

O modelo matemático proposto por Van Genuchten é representado pela equação: $\Theta = \Theta_r + ((\Theta_s - \Theta_r) / (1 + (\alpha * \psi_m)^n)^m)$ onde, Θ = umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Θ_r = umidade volumétrica residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Θ_s = umidade volumétrica saturada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ψ_m = potencial matricial (kPa); α, n, m = parâmetros empíricos da equação.

O teor de água disponível para as plantas foi estimado pela diferença entre a umidade volumétrica no potencial de 10 kPa, referido como capacidade de campo e 1.500 kPa, considerado como ponto de murcha permanente (CARLESSO, 1995).

A resistência do solo à penetração foi obtida nas amostras volumétricas, com umidade equilibrada na tensão correspondente a 6 kPa, utilizando-se um penetrômetro de bancada Marconi®, modelo MA-933, dotado de cone com 3,9 mm de diâmetro, ângulo de ataque de 45° e velocidade de penetração de 1mm s⁻¹. O valor de cada amostra correspondeu à média dos 40 valores determinados entre 6 e 45mm para os anéis de 5cm, e a média de 15 valores determinados entre 6 e 20 mm, para os anéis de 2,5 cm.

As avaliações dos atributos químicos consistiram da determinação de carbono orgânico total (COT) de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995) pela combustão úmida, com oxidação com dicromato de potássio e determinação por titulometria; P e K foram extraídos com solução ácida de Mehlich-1, sendo o K determinado por fotometria de chama, de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995), e o P por colorimetria, segundo metodologia de Murphy e Riley (1962); pH do solo foi determinado nas relações 1:1 em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹.

3.4.5 Análise estatística

O trabalho foi montado em delineamento observacional, com oito repetições e os resultados submetidos à análise de variância pelo teste F e de comparação de médias pelo teste “t”.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Atributos Físicos

Os valores de DMP variaram entre 4,8 a 6,0 mm, com efeito do sistema de manejo empregado nas três camadas avaliadas (Tabela 3). Na média das três camadas, as áreas que recebem aplicação de fertilizantes com dejetos de suínos e cama de aves não diferiram de MN e P0, com exceção de EM20 e M7. Acredita-se que isso pode ser influenciado pelo cultivo de espécies de gramíneas nestas áreas, por possuírem raízes fasciculadas, que atuam na agregação do solo, por ação mecânica e pela liberação de exsudatos com ação cimentante, e porque este solo apresenta elevados teores de argila (EMBRAPA, 2004), o que, juntamente com o teor de C orgânico (Tabela 8), confere elevada estabilidade de agregados.

O alto DMP também foi observado por Barilli (2005) e Arruda et al. (2010) em estudos com aplicação de doses crescentes de dejetos suínos num Latossolo Vermelho. Isso indica alta estabilidade dos agregados, podendo ser justificado pela presença da grande quantidade de radicais orgânicos na MOS, que interagem com a superfície dos minerais (TISDALL e OADES, 1982).

O grau de floculação de argila (GF) manteve-se entre 35 e 71%. Na média das três camadas, a MN apresentou maior valor de GF, seguido de P0 e P3. Áreas de pastagem, milho e erva mate, ambas, com 20 anos de aplicação, não se diferenciaram entre si (Tabela 3). Houve correlação positiva entre GF e COT ($r = 0,51$; Tabela 4). Nesse solo, os possíveis fatores reguladores da floculação são de ordem química, mineralógica e a influência dos radicais carboxílicos presentes na matéria orgânica oriunda dos fertilizantes de dejetos suínos e cama de aves, estabelecem fortes ligações com metais polivalentes das argilas do solo e portanto, influenciam a agregação e a estabilidade dos agregados (SILVA et al., 2006).

Na média das três camadas a densidade do solo (Ds) variou entre 1,22 a 1,06 g cm⁻³ (Tabela 5). Barzegar et al. (2002) aplicaram doses de esterco de curral de 0 a 15 Mg ha⁻¹ e observaram diminuição na densidade e aumento na porosidade do solo. A aplicação de adubação mineral e orgânica em um Vertisol, na Índia, reduziu a densidade do solo na camada de 0 a 7,5 cm de 1,30 Mg m⁻³ no tratamento testemunha, para 1,18

Mg m⁻³ no tratamento com doses crescentes de dejetos suínos (HATI et al., 2006). Segundo os mesmos autores, a diminuição na densidade do solo pode estar relacionada ao papel da matéria orgânica, influenciando a porosidade do solo nos tratamentos com maior aplicação de resíduos orgânicos.

Tabela 3 - Diâmetro médio ponderado e grau de floculação de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.

Tratamento	Camada			Média	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
----- Diâmetro médio ponderado (mm) -----					
M7	5,2 B	5,1 C	5,0 BC	5,1 C	10,8
M20	5,7 A	5,7 AB	5,5 A	5,7 A	4,7
P3	6,0 A	5,7 AB	5,8 A	5,8 A	3,5
P15	5,7 A	5,8 A	5,6 A	5,7 A	2,8
PP20	5,8 A	5,6 AB	5,4 AB	5,6 A	6,1
EM20	5,9 A	5,4 BC	4,8 C	5,4 B	9,0
MN	5,7 A	5,8 A	5,6 A	5,7 A	3,8
P0	5,7 A	5,8 A	5,4 AB	5,6 A	8,8
----- Grau de floculação (%) -----					
M7	45 C	45 CD	50 A	47 C	4,9
M20	46 C	42 CD	40 C	43 CD	18,4
P3	57 B	60 B	63 A	60 B	7,8
P15	38 D	38 D	42 C	39 D	13,7
PP20	45 C	41 CD	43 C	43 CD	16,3
EM20	35 D	47 C	53 B	45 C	23,2
MN	69 A	71 A	64 A	68 A	9,9
P0	58 B	63 B	67 A	63 B	12,5

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamento, teste t (P <0,05). * CV: coeficiente de variação.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação Pearson entre os atributos do solo, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos.

Atributo	GF	COT	Ds	Ma	PT	Bio
Ds		*-0,29		*-0,82	*-0,72	*-0,66
RP			*0,61	*-0,51	*-0,32	*-0,32
Mi				*-0,30	*0,74	
COT	*0,51					
PT				*0,54		

GF: grau de floculação; COT: carbono orgânico total; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; PT: porosidade total; Ds: densidade do solo; RP: resistência a penetração. Somente os coeficientes significativos foram apresentados (P < 0,05). *Significativos a 1%.

Os tratamentos EM20, M20, P15 e P0 tiveram os maiores valores de densidade do solo (Ds) na média das três camadas. Isso pode estar relacionado também ao sistema de preparo do solo, como no milho com 20 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos,

manejado sob preparo convencional, que desagrega e provoca deformação da estrutura do solo.

Além do efeito do preparo do solo, o tráfego de máquinas diminui a porosidade do solo, com consequente aumento da Ds, como verificado na área de erva mate com 20 anos de aplicação. Já para P15 a maior Ds pode ser atribuído, pelo pisoteio animal em virtude do pastejo da área.

Os tratamentos pastagem com 20 anos de aplicação e milho com 7 anos de aplicação tiveram a menor Ds, não diferindo de MN. Em pastagens bem manejadas, pode haver incremento nos teores de carbono orgânico no solo, assim como o crescimento do sistema radicular fasciculado das gramíneas favorece a estruturação do solo.

Para M7, cujo sistema de manejo empregado ao solo é o plantio direto, observa-se maior densidade em superfície, fato também verificado por Silva et al. (2006), o que pode ser atribuído à compactação decorrente da transmissão da pressão realizada na superfície do solo pelas máquinas e implementos.

Já a diminuição da densidade do solo em subsuperfície para M7 indica melhoria na qualidade física do solo decorrente da possível atividade da fauna edáfica e de raízes, as quais atuam na formação de canais (bioporos) (COSTA et al., 2004).

Os sistemas de uso do solo que recebem fertilizantes orgânicos tiveram maior Ds na camada de 0-5 cm, exceto PP20 quando comparado a MN, fato que também atribuído a compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas e pisoteio animal

A presença dos animais na pastagem tem efeitos diretos e indiretos sobre o solo. As altas pressões aplicadas pelos cascos dos animais tendem a danificar a vegetação e deformar o solo e provocam a compactação superficial deste.

Observando o comportamento da Ds em profundidade, verifica-se muita variação entre as áreas estudadas. Para as áreas com 20 anos de aplicação e dejetos suínos M20, PP20 e EM20, assim como MN, P0, e P3 tiveram aumento da Ds em profundidade. Este aumento de densidade em profundidade pode ser ocasionado por diferentes fatores como menor teor de carbono orgânico, menor agregação, pouca quantidade de raízes, adensamento natural e pisoteio animal.

As condições de umidade de solo, em que são realizadas as operações de preparo e cultivo, assim como pastejo das forrageiras pelos animais são fundamentais no comportamento da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Adicionalmente, o tempo de utilização dos sistemas de manejo também é uma variável

importante a ser considerada na avaliação do efeito do manejo sobre a qualidade do solo (COSTA et al., 2003).

A macroporosidade, os bioporos e a porosidade total (PT) tiveram correlação negativa com a D_s , onde segundo Petean, et al. (2010), no processo de compactação, há concomitante aumento da densidade do solo e redução no volume do espaço poroso, principalmente de macroporos, reduzindo a infiltração e a difusão de gases, bem como aumentando a resistência do solo à penetração das raízes.

A PT variou de 0,34 a 0,68 $m^3 m^{-3}$, sendo que na média das três camadas avaliadas (Tabela 5), M7 teve o maior valor de PT. Para a camada de 0-5 cm, PP20 teve maior valor de PT enquanto que nas camadas subseqüentes M7 foi superior as demais áreas estudadas. Pagliai et al. (1983) observaram que a aplicação de dejetos suíno, na dose de 300 $m^3 ha^{-1}$, aumentou a porosidade total de 0,10 para 0,31 $m^3 m^{-3}$ principalmente pela participação de poros maiores que 30 micras de diâmetro, na camada superficial de um solo argilo-siltoso.

Trabalho realizado por Seganfredo (1998) indicou que as doses de dejetos suíno calculadas para suprir entre 100 e 150 $kg ha^{-1}$ de nitrogênio, diminuíram a microporosidade e a densidade do solo, e aumentaram a macroporosidade e a porosidade total do solo, sendo esses efeitos evidenciados somente após o terceiro ano de aplicação.

A macroporosidade variou entre 0,08 e 0,16 $m^3 m^{-3}$, na média das três camadas. Observa-se que os valores encontrados em M7, P3, P15, PP20 e MN estão acima do nível crítico (Reichert et al., 2003) de 0,10 $m^3 m^{-3}$. Andrade et al. (2010), ressalta que a dinâmica do fluxo de gases, bem como o movimento de água no solo, estão intimamente relacionados ao volume de macroporos, garantindo a oxigenação radicular, bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

As áreas M7 e PP20 apresentaram os maiores de macroporosidade e bioporos na média das três camadas. Deve-se considerar que outros fatores, além da forma e quantidade de adubação podem influenciar a qualidade física do solo, especialmente decorrentes do menor revolvimento do solo no sistema de semeadura direta, além dos efeitos do sistema radical das plantas e da atividade da mesofauna, em termos de porosidade e agregação (Silva et al., 2005).

Na camada de 0-5 cm as áreas MN e PP20 tiveram maior macroporosidade quando comparadas com os demais tratamentos. Para a camada de 10-20 cm P3, M20 e EM20 apresentaram os valores de macroporos mais baixos e não diferiram de MN e P0.

Tabela 5 - Valores de densidade do solo, porosidade total, volume de bioporos, macroporosidade e microporosidade, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Camada			Média	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
-----Densidade (g cm ⁻³)-----					
M7	1,27 AB a	0,99 D b	0,93 E b	1,06 C	8,1
M20	1,24 BC a	1,23 BC a	1,11 C b	1,19 A	8,4
P3	1,18 CD a	0,97 D b	1,20 AB a	1,12 B	7,2
P15	1,34 A a	1,22 BC b	1,02 D c	1,19 A	8,2
PP20	0,82 E c	1,28 AB a	1,10 CD b	1,07 C	5,9
EM20	1,15 D b	1,18 C ab	1,25 A a	1,19 A	7,5
MN	0,81 E b	1,28 AB a	1,22 A a	1,10 BC	7,3
P0	1,20 BCD b	1,34 A a	1,14 BC c	1,22 A	4,2
-----Porosidade total (m ³ m ⁻³)-----					
M7	0,52 CD	0,62 A	0,63 A	0,59 A	6,4
M20	0,50 D	0,53 BC	0,58 B	0,54 B	6,7
P3	0,56 BC	0,52 BC	0,53 C	0,53 B	6,5
P15	0,35 F	0,55 B	0,51 C	0,47 F	9,3
PP20	0,68 A	0,37 E	0,46 D	0,50 C	5,6
EM20	0,41 E	0,42 D	0,39 E	0,41 F	11,2
MN	0,59 B	0,49 C	0,53 C	0,54 B	7,2
P0	0,40 E	0,34 E	0,58 B	0,44 E	6,8
-----Bioporos (m ³ m ⁻³)-----					
M7	0,04 B	0,05 AB	0,07 A	0,06 AB	64,2
M20	0,02 B	0,03 BC	0,04 AB	0,03 C	58,0
P3	0,03 B	0,06 A	0,04 B	0,04 BC	49,3
P15	0,02 B	0,04 BC	0,06 AB	0,05 BC	58,6
PP20	0,13 A	0,02 C	0,05 AB	0,07 A	60,9
EM20	0,03 B	0,03 BC	0,03 B	0,03 C	52,4
MN	0,10 A	0,03 BC	0,04 AB	0,06 AB	78,2
P0	0,03 B	0,03 BC	0,04 AB	0,04 C	32,2
-----Macroporosidade (m ³ m ⁻³)-----					
M7	0,09 B	0,14 B	0,21 A	0,15 AB	44,0
M20	0,05 B	0,09 CD	0,11 CD	0,08 DE	49,0
P3	0,09 B	0,22 A	0,06 D	0,12 C	32,3
P15	0,05 B	0,08 CD	0,18 AB	0,11 CD	38,9
PP20	0,25 A	0,07 D	0,15 BC	0,16 A	39,8
EM20	0,09 B	0,11 BC	0,07 D	0,09 DE	44,9
MN	0,26 A	0,06 D	0,08 D	0,13 BC	30,8
P0	0,07 B	0,07 D	0,09 D	0,08 E	22,4
-----Microporosidade (m ³ m ⁻³)-----					
M7	0,43 AB	0,49 A	0,41 B	0,44 A	64,2
M20	0,47 AB	0,44 B	0,48 A	0,46 A	58,0
P3	0,46 B	0,30 C	0,47 A	0,41 B	49,3
P15	0,29 C	0,47 AB	0,33 C	0,37 C	58,6
PP20	0,42 B	0,30 C	0,31 C	0,34 CD	60,9
EM20	0,33 C	0,31 C	0,33 C	0,32 D	52,4
MN	0,33 C	0,44 B	0,45 AB	0,40 B	78,2
P0	0,32 C	0,27 C	0,48 A	0,36 C	32,2

Tratamentos: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamento e minúsculas na linha comparam profundidade, teste t (P < 0,05). * CV: coeficiente de variação.

Segundo Silva et al., (2005) as alterações na densidade do solo ocasionadas pela compactação modificam a estrutura do solo, o que pode alterar a quantidade e

distribuição de poros, normalmente evidenciada pela drástica redução na macroporosidade.

Os valores da microporosidade ficaram entre 0,27 a 0,48 m³ m⁻³ entre as três camadas analisadas. Na média das três camadas os sistemas que cultivam milho não diferiram entre si, e apresentaram os maiores valores de microporos. Pastagem perene e erva mate, ambas com 20 anos de aplicação de dejetos suínos, tiveram os menores valores de microporos na média das três camadas em relação às demais áreas.

A resistência do solo ao penetrômetro (RP) variou de 495 kPa a 1622 kPa (Tabela 6), sendo influenciada pelos sistemas de uso do solo e com a de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves. A resistência à penetração apresentou correlação positiva com a Ds ($r = 0,61$), indicando que os valores de RP são diretamente proporcionais à Ds, fato também observado por Collares et al., (2006), analisando atributos físicos num Argissolo.

A área de mata nativa por não ter influência antrópica apresentou a menor resistência à penetração na média das três camadas. Dentre os sistemas de manejo que tiveram os maiores valores de RP na média das três camadas, M20, P3, P15, EM20 e P0, apresentaram menores valores de macro e bioporos, em virtude da correlação negativa (Tabela 4) da RP com estas variáveis ($r = -0,51$ e $-0,32$ respectivamente). Segundo Taylor e Gardner (1963), que consideram o valor de 2000 kPa como crítico para o desenvolvimento das raízes das plantas, o uso do solo e a aplicação de fertilizantes não comprometem o desenvolvimento das plantas.

Nas áreas de pastagem (P3, P15 e P0) os maiores valores de RP podem ser devidos ao pisoteio animal, sendo também influenciados pelos menores teores de carbono orgânico (Tabela 9), o que aumenta a coesão entre as partículas e agregados, ao estabelecerem uma menor concentração de cimento orgânico sobre e entre os mesmos.

Para a área de milho com 20 anos de aplicação, por ser um solo manejado de forma convencional, era esperada menor RP, uma vez que o revolvimento do solo rompe camadas compactadas. O que pode explicar esse fato refere-se ao destino desta área também ser para pastagem intensiva na entre safra. Na área de erva mate, o valor da RP pode ser explicado pelo tráfego de máquinas, que ocorre sempre no mesmo local, entre as linhas de cultivo de erva mate durante os 20 anos de aplicação.

Tabela 6- Resistência à penetração do solo (RP) com umidade volumétrica (UV) equilibrado no potencial matricial de 6 kPa num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.

Tratamento	Camada						Média	CV%
	0-5 cm		5-10 cm		10-20 cm			
	RP*	UV**	RP*	UV**	RP*	UV**		
M7	1558 A	0,49	1069 BC	0,53	1021 D	0,52	1216 B	39,2
M20	1313 AB	0,55	1561 A	0,56	1429 AB	0,56	1434 A	24,5
P3	1377 AB	0,56	1418 AB	0,56	1325 BC	0,54	1373 AB	32,5
P15	1352 AB	0,54	1369 AB	0,54	1142 CD	0,56	1288 AB	27,7
PP20	935 C	0,51	1461 AB	0,51	1520 AB	0,52	1305 AB	28,4
EM20	1062 BC	0,56	1584 A	0,55	1622 A	0,55	1422 AB	23,5
MN	495 D	0,50	673 C	0,51	1004 D	0,50	724 C	17,2
P0	1436 A	0,55	1370 AB	0,55	1407ABC	0,50	1404 AB	27,2

M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t ($P < 0,05$); CV: Coeficiente de variação. * (kPa); ** ($m^3 m^{-3}$).

A área com milho há 7 anos com aplicação de dejetos apresentou valores de RP semelhantes aos tratamentos P3, P15, EM20 e P0, o que pode ser relacionado à exportação de grande parte da biomassa vegetal do milho, destinada à silagem e pelo solo ficar em pousio no inverno, com menor cobertura vegetal, o que favorece o adensamento do solo.

Constatou-se que o uso do solo alterou as curvas de retenção de água no solo, relacionado à redução na porosidade e modificação na distribuição do diâmetro dos poros. As curvas de retenção de água sob diferentes tensões foram semelhantes na média das profundidades (Figura 1), para as áreas manejadas, porém diferindo-se consideravelmente da área de mata nativa (Tabela 7).

Os resultados apresentados no Anexo 6 mostram, pelos elevados valores de coeficiente de ajuste dos dados, que o modelo proposto por Van Genuchten (1980) foi eficiente no ajuste das curvas características de retenção de água deste solo.

O armazenamento de água variou de 0,60 a 0,72 $m^3 m^{-3}$ na condição de solo saturado (0 kPa) (Tabela 7). A quantidade de água presente no potencial de 10 kPa, referida na literatura como capacidade de campo (VAN LIER, 2010), variou de 0,47 a 0,54 $m^3 m^{-3}$, enquanto que no potencial de 1.500 kPa, considerado como ponto de murcha permanente, os teores água variaram de 0,36 a 0,45 $m^3 m^{-3}$.

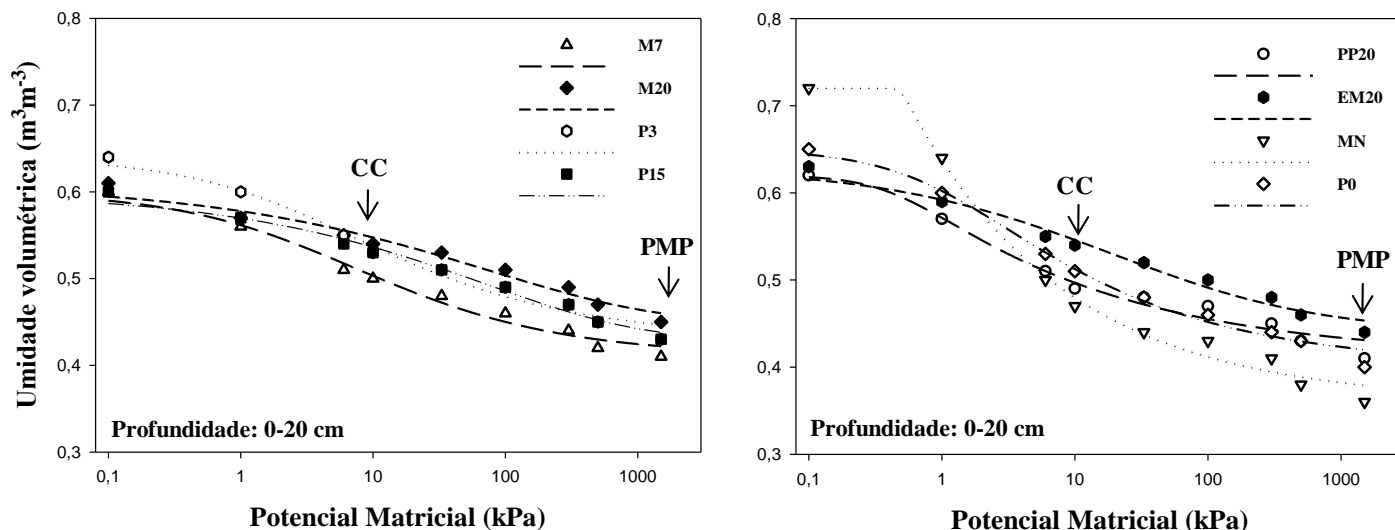


Figura 1- Curvas de retenção de água no solo na média da profundidade de 0-20 cm, ajustadas ao modelo de Van Genuchten, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves (M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa), num Nitossolo Vermelho Eutrófico. Obs: CC - capacidade de campo e PMP - ponto de murcha permanente.

Tabela 7- Valores médios da umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), 1kPa, 6 kPa, 10kPa (CC), 30 kPa, 100 kPa, 300kPa, 500kPa e 1.500kPa (PMP) na média da profundidade de 0-20 cm das áreas sob diferentes sistemas de uso e aplicação de fertilizantes orgânicos de dejetos suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Potencial matricial								
	0	1	6	10	33	100	300	500	1500
-----kPa-----									
-----Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----									
M7	0,60 D	0,56 D	0,51 B	0,50 BC	0,48 B	0,46 B	0,44 B	0,42 C	0,41 C
M20	0,61 D	0,57 CD	0,55 A	0,54 A	0,53 A	0,51 A	0,49 A	0,47 A	0,45 A
P3	0,64 B	0,60 B	0,55 A	0,53 A	0,51 A	0,49 A	0,47 A	0,45 B	0,43 B
P15	0,60 D	0,57 D	0,54 A	0,53 A	0,51 A	0,49 A	0,47 A	0,45 B	0,43 B
PP20	0,62 CD	0,57 D	0,51 C	0,49 C	0,48 B	0,47 B	0,45 B	0,43 C	0,41 C
EM20	0,63 BC	0,59 BC	0,55 A	0,54 A	0,52 A	0,50 A	0,48 A	0,46 AB	0,44 AB
MN	0,72 A	0,64 A	0,50 C	0,47 C	0,44 C	0,43 C	0,41 C	0,38 D	0,36 D
P0	0,65B	0,60 B	0,53 B	0,51 B	0,48 B	0,46 B	0,44 B	0,43 C	0,40 C

M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t ($P < 0,05$).

Costa (1979) reporta influência da textura do solo na retenção de água, onde solos de textura mais fina retêm maior porcentagem de água, ao longo de toda a faixa de energia. Tal condição é prevista pelo fato de possuírem maior porcentagem de material

coloidal, maior espaço poroso e superfície adsortiva muito maior que os solos de textura mais grossa.

As alterações na densidade do solo ocasionadas pela compactação alteram e modificam a estrutura do solo, resultando em uma menor umidade do solo na condição de saturação, embora tais diferenças podem interferir muito pouco na disponibilidade de água às plantas, pois maiores valores de umidade próximos à saturação significam água facilmente drenável (KLEIN e LIBARDI, 2002).

Observa-se que, na condição de solo saturado, a maior umidade foi na área de mata nativa com $0,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto na tensão de 10 kPa, assumido para esse solo como condição de CC, os valores de umidade foram maiores em M20, P3, P15 e EM20, enquanto que no PMP, os valores da umidade foram, maiores em M20 e EM20 (Tabela 7). Isto indica que as alterações na porosidade provocadas pelo aumento da densidade foram mais acentuadas na porosidade relacionada com o movimento rápido da água no solo.

Na faixa de energia de importância para as plantas, ou seja, de 10 a 1.500 kPa, as áreas M20 e EM20 apresentaram maior retenção de água, o que pode estar associado ao alto teor de argila (Tabela 1) presente neste solo e aos teores de carbono orgânico (Tabela 8) nestas duas áreas.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Carvalho (1999), o qual reporta que a influência da textura do solo é muito grande, mas, que solos da mesma classe textural podem ter curvas de tensão de umidade diferentes, como resultado de diferenças no tipo de argila, nas diferenças de microestrutura a elas relacionadas e teor de matéria orgânica. A alta superfície específica da matéria orgânica oriunda dos grupamentos funcionais nela presente, permite que o armazenamento de água de 20 vezes o seu peso, por meio de pontes de H^+ dos grupamentos reativos (NOVAIS, et al., 2007).

A água disponível (AD), considerada como o volume entre capacidade de campo (10 kPa) e ponto de murcha permanente (1.500 kPa) variou de 0,084 e $0,115 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na média das três camadas (Tabela 8), sendo influenciada pelo uso do solo e aplicação de fertilizantes. Esses valores estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo que, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), situa-se entre 0,15 e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Dentre as áreas analisada, o maior valor de água disponível foi verificado em P0 e P3 não se diferindo de MN na média das três camadas. A área com pastagem com 3

anos de aplicação não diferiu de EM20 na média das três camadas, enquanto que M7, M20, P15 e PP20 mostraram os menores valores de AD. Rojas e Van Lier (1999), observaram maior retenção de água na camada de 0-20 cm relacionada ao aumento da microporosidade do solo e pela presença de matéria orgânica.

Tabela 8- Água disponível num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves.

Tratamento	Camada			Média	CV%
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	-----Água disponível (m ³ m ⁻³)-----				
M7	0,095 AB	0,105 B	0,076 BC	0,095CD	17,7
M20	0,084 B	0,099 BC	0,080 BC	0,088 CD	44,3
P3	0,116 A	0,115 AB	0,079 BC	0,103 AB	16,2
P15	0,099 AB	0,099 BC	0,083 BC	0,094 CD	11,2
PP20	0,102 AB	0,085 C	0,063 D	0,084 D	26,1
EM20	0,119 A	0,104 B	0,073 DC	0,098 BC	14,0
MN	0,122 A	0,124 A	0,089 B	0,112 A	14,9
P0	0,110 AB	0,127 A	0,108 A	0,115 A	12,6

M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t ($P < 0,05$); CV: Coeficiente de variação.

3.5.2 Atributos Químicos

Na média das três camadas, a mata nativa teve o maior teor de carbono orgânico total (COT) com 46,4 g kg⁻¹, diferindo das demais áreas (Tabela 9). Isto evidencia que o uso do solo e a aplicação de fertilizantes orgânicos, comparativamente à condição natural do solo, afetaram o teor de carbono o que pode promover alterações na qualidade do solo, fato também evidenciado por Arruda et al., (2010), num estudo com adição de doses crescentes de dejetos de suínos sobre um Latossolo.

O fato da aplicação dos fertilizantes orgânicos a base de dejetos suínos e cama de aves não resultar em incrementos nos teores de carbono orgânico deve-se, provavelmente, ao aumento na atividade microbiana, resultando em maior intensidade de mineralização da matéria orgânica do solo (ALVES et al., 2006).

Por outro lado, em trabalho realizado por Ceretta et al. (2003) com doses de 20 e 40 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno, aplicadas durante quatro anos em pastagem natural,

observou-se incremento nos teores de C orgânico, na camada 0 a 2,5 cm. Resultado semelhante foi relatado por Hati et al. (2006), ao estudarem o efeito combinado da adubação mineral e resíduos animais aplicados na dose de 10 Mg ha⁻¹ em um Vertisol, observando que o dejetos de suíno aumentou o carbono orgânico no solo na camada de 0 a 15 cm, passando de 4,4 g kg⁻¹ na testemunha, para 6,2 g kg⁻¹ com adubação mineral e dejetos animal.

Tabela 9 - Teores de COT em áreas com sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico

Tratamento	Camada			Média	CV%*
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	-----COT(g kg ⁻¹)-----				
M7	18,1 C	15,3 CD	21,7 D	19,2 EF	60,8
M20	18,8 C	16,6 CD	22,1 D	19,9 DEF	16,7
P3	22,5 B	20,1 B	28,7 B	25,0 B	30,0
P15	15,0 D	16,6 D	21,5 D	18,0 F	13,5
PP20	23,8 B	18,2 BC	25,6 C	23,3 BC	9,2
EM20	24,8 B	16,1 CD	21,4 D	20,9 DE	19,2
MN	63,1 A	49,3 A	36,6 A	46,4 A	12,4
P0	23,8 B	15,6 CD	23,3 CD	21,5 CD	14,8

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos ; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamento, teste t (P <0,05). *CV: Coeficiente de variação.

Na área de cultivo de milho com 20 anos de aplicação, onde o solo é manejado de forma convencional e área de pastagem com uso intensivo (P15) apresentou baixos teores de COT, na média das três camadas, em virtude do revolvimento do solo ocasionado pelo preparo convencional e pela escarificação anual, expondo o solo ao aumento da temperatura e oxigenação do solo, e conseqüentemente o aumento da atividade microbiana, determinando assim um declínio gradativo dos estoques de carbono no solo, mesmo mediante longo período de aplicação de resíduos animais no solo.

Sistemas convencionais de preparo do solo ocasionam a deterioração da estrutura do solo, diminui a proteção física da matéria orgânica mediante a exposição aos processos oxidativos, ocasionando taxas de mineralização do carbono maiores do que às taxas de adição de resíduos orgânicos (SANTOS et al., 2008).

Apesar de milho com 7 anos de aplicação ser manejado sob semeadura direta, não se diferiu de M20 e P15, na média das três camadas, provavelmente porque o milho

é destinado para silagem e toda a biomassa vegetal é exportada. Além disso, o solo fica em pousio durante o inverno, o que resulta em menor acúmulo de material orgânico neste período.

A pastagem perene com 20 anos de aplicação de dejetos suínos teve maior teor de carbono em relação à erva mate com 20 anos de aplicação, considerando a média das três camadas. Isso pode ser relacionado com o cultivo de gramíneas e crucíferas em consórcio, cultivadas em PP20, proporcionando maior acúmulo de fitomassa com relação C/N intermediária àquela obtida por culturas únicas (SANTOS et al., 2008).

Aliado a isso, a manutenção da área sem pastejo e sem movimentação do solo favorece a formação de uma camada de resíduos vegetais.

As gramíneas são caracterizadas por apresentarem raízes bem desenvolvidas, as quais podem influenciar positivamente no acúmulo de carbono no solo na forma de raízes. Este fator pode auxiliar na compreensão de que o teor de carbono na área de pastagem intensiva sem aplicação de fertilizantes orgânicos (P0), foi superior a pastagem com 15 anos de aplicação e milho com 7 anos de aplicação, na média das três camadas.

Os tratamentos P0, e MN apresentam valores baixos de P, segundo Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2004), quando comparados com as áreas que recebem o dejetos suíno, as quais apresentam valores muito altos de P, exceto P3.

Avaliando o efeito do uso prolongado de dejetos de suínos sobre os atributos químicos do solo, Barilli (2005) e Scherer et al. (2010), constataram aumento nos teores de P e K em áreas que recebem dejetos por um período maior que 20 anos, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

Os maiores teores foram observados na camada de 0-5 cm para as áreas que receberam fertilizantes orgânicos por mais de 7 anos, diferindo de áreas que recebem os fertilizantes orgânicos por menos tempo como em P3. Isso demonstra que sucessivas aplicações de dejetos às vezes em quantidades superiores às necessidades de P das culturas resultam em acúmulo do nutriente na superfície do solo.

Milho com 20 anos de aplicação não diferiu do tratamento com erva mate com 20 anos de aplicação nas duas primeiras camadas, porém na média das três profundidades EM20 teve um valor de 120 mg kg^{-1} diferindo-se das demais áreas.

Os altos teores de P em profundidade (exceto MN, P0 e P3), possivelmente devido à aplicação dos dejetos líquidos promoveram a mobilidade deste elemento em profundidade. Para M20 estes teores altos de P em profundidade podem ser

relacionados ao revolvimento do solo que expõem os sítios de adsorção e que com o passar dos anos foram sendo saturados e o elemento mineral passou a ocupar os sítios de absorção das camadas mais profundas.

Tabela 10 - Teores de P, K e pH (CaCl₂) em áreas com sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Camada			Média	CV%*
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
-----P (mg kg ⁻¹)-----					
M7	84,9 C	60,5 D	56,0 C	67,1 D	18,2
M20	113,8A	100,4 A	64,1 BC	92,7 B	16,0
P3	5,54 E	4,07 E	3,2 D	4,3 E	31,9
P15	81,0 CD	79,6 BC	72,1 B	77,6 C	9,4
PP20	71,6 D	60,1 D	55,8 C	62,5 D	14,9
EM20	165,2 A	113,2 A	82,7 A	120,4 A	17,9
MN	3,18 E	2,5 E	2,1 D	2,6 E	18,5
P0	3,3 E	4,1 E	2,2 D	3,1 E	84,0
-----K (cmol _c kg ⁻¹)-----					
M7	0,76 C	0,48 DE	0,35 CD	0,53 E	30,6
M20	0,97 B	0,90 A	0,69 A	0,85 AB	14,3
P3	0,87 B	0,69 BC	0,50 BC	0,69 CD	21,9
P15	1,00 AB	0,82 AB	0,66 AB	0,83 B	16,7
PP20	1,18 A	0,86 A	0,75 A	0,93 A	16,6
EM20	0,88 C	0,84 AB	0,72 A	0,78 BC	25,3
MN	0,69 C	0,44 E	0,30 D	0,48 E	30,2
P0	0,86 BC	0,61 CD	0,47 C	0,65 D	41,1
-----pH (CaCl ₂)-----					
M7	5,1 C	4,9 C	4,9 C	5,0 C	4,2
M20	6,4 A	6,1 A	6,0 A	6,2 A	9,0
P3	4,8 D	4,5 D	4,3 DE	4,6 D	6,4
P15	5,1 C	5,1 C	5,1 C	5,4 C	2,9
PP20	4,6 D	4,4 D	4,37	4,5 D	4,0
EM20	4,1 E	3,9 E	4,0 E	4,0 E	6,9
MN	5,7 B	5,6 B	5,3 B	5,6 B	8,7
P0	4,6 D	4,3 DE	4,2 DE	4,4 D	5,3

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos ; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamento, teste t (P <0,05). *CV: Coeficiente de variação.

A aplicação de dejetos de suínos aumentou os teores de K em relação a MN, sendo que os mesmos variaram de 0,3 a 1,2 cmol_c kg⁻¹. As áreas que receberam dejetos há 20 anos apresentaram os maiores teores deste elemento.

O milho com 20 anos de aplicação diferiu de milho com 7 anos de aplicação, sendo ambos destinados para silagem, provavelmente devido a M20 receber dejetos por

mais tempo, mesmo considerando que este nutriente é exportado em grande quantidade pela cultura.

O pH do solo esteve relacionado com o histórico de uso e correção química das áreas. O milho com 20 anos de aplicação apresentou maior valor de pH ocasionado pela calagem realizada com aplicação de 5 Mg/ha no ano de 2008, a qual, diferiu-se das demais com pH médio de 6,2. A mata nativa, que não recebeu calagem (Tabela 2), teve valores de pH maiores que as demais áreas, com pH médio de 5,6. Pastagem com 15 anos de aplicação e milho com 7 anos de aplicação de dejetos não se diferiram na média das três camadas, porém foram superiores a P3, PP20 e EM20.

3.6 CONCLUSÃO

- 1- A aplicação de fertilizantes orgânicos de dejetos suínos e cama de aves propriedades físicas do solo, sendo observados valores elevados de DMP e macroporosidade. A densidade do solo não atingiu valores críticos.
- 2- Os valores da resistência a penetração foram correlacionados à densidade, mas não atingiram valores críticos ao crescimento de raízes. O manejo alterou as curvas de retenção de água no solo.
- 3- Os teores de P, K e Na no solo foram influenciados positivamente pelos tempos de aplicação de dejetos.
- 4- Os sistemas de manejo do solo diminuíram os teores de COT das áreas estudadas em relação à mata nativa.

4 CAPÍTULO II - FRACIONAMENTO GRANULOMÉTRICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SUÍNOS E AVES.

4.1 RESUMO

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) pode contribuir para o entendimento da sua dinâmica em áreas com diferentes sistemas de manejo. Neste estudo avaliou-se o efeito da aplicação de dejetos de suínos e cama de aves sobre o conteúdo de carbono orgânico total e a distribuição deste elemento nas frações granulométricas e em classes de agregados de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia, SC, abrangendo diferentes usos e tempos de aplicação de dejetos, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem azevém (P3 anos); pastagem azevém (P15anos); pastagem perene (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0 anos). As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm, sendo analisados o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e carbono orgânico contido no interior dos agregados (C-agregados). Os estoques de COT e COP foram maiores na área de mata nativa na média das três camadas. A concentração de carbono particulado foi maior em relação ao carbono orgânico total, sendo que entre as áreas que recebem dejetos M20, P3 e EM20 tiveram os maiores valores de COP e não se diferiram entre si. O maior estoque de COT foi observado em P3 em relação as demais áreas, na soma das três camadas. Para os teores de COam, os maiores valores foram observados na MN e P0, que diferiram das demais áreas. Nas áreas M7, P3 e EM20 verificaram-se os maiores estoques de C-agregados. O uso do solo e a aplicação de dejetos ocasionaram diminuição de COam, sendo MN e P0 contendo os maiores estoques de carbono associado aos minerais.

Palavras-chave: Fracionamento granulométrico. Carbono orgânico total. Carbono orgânico particulado.

4.2 ABSTRACT

The results of granulometric fractionation of soil organic matter (SOM) can contribute to understand its dynamics in areas under different management systems. This study evaluated the effect of pig slurry and poultry litter on total organic carbon contents, and distribution of this element in granulometric fractions and in aggregate classes of an Alfisol, in Concordia, SC, Southern Brazil, under different uses and times of manure application, namely: maize for silage (M7 years), maize for silage (M20 years), annual ryegrass pasture (P3 years), annual ryegrass pasture (P15anos), perennial pasture (PP20 year) mate (EM20 years), native forest (NF) and native pasture without manure application (P0 years). Soil samples were collected in the layers of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, and analyzed for total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), organic carbon associated to minerals (OCam) and organic carbon contained in aggregates (C-aggregates). The TOC and POC stocks were higher in native forest on the average of the three layers. The concentration of particulate organic carbon was higher than the total organic carbon, and the areas that received organic fertilizers M20, P3 and EM20 had the highest values, with no significant difference. The largest stock of TOC was observed in P3 compared with other areas, the sum of three layers. The highest OCam values were observed in NF and P0, which differed from the other areas. The M7, P3 and EM20 areas had the highest C-aggregate stocks. The use of soil and manure application caused OCam decrease, with P0 and NF containing the highest stocks of carbon associated to minerals.

KEYWORDS: Granulometric fractionating. Total organic carbon. Particulate organic carbon

4.3 INTRODUÇÃO

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades, onde a sustentabilidade agrícola é influenciada pelo tipo de manejo empregado, o que afeta as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo - MOS (LOSS et al., 2009).

Na região oeste de Santa Catarina, a suinocultura é uma atividade típica de pequenas propriedades rurais, onde os dejetos são utilizados continuamente nas mesmas áreas de produção agrícola (SEGANFREDO et al., 2003).

A incorporação de MO, na forma de esterco animal, aumenta a capacidade de troca catiônica e proporciona a melhoria na estrutura, caracterizada pela diminuição da densidade do solo, aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água (PORTELA et al., 2010).

Porém, a quantidade de carbono orgânico efetivamente adicionado ao solo depende da quantidade de resíduos adicionada e da facilidade de decomposição destes (BRANCALIÃO e MORAIS, 2008).

O carbono orgânico pode acumular em frações lábeis ou estáveis da MOS, o que pode implicar na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas. Assim, o fracionamento granulométrico da MOS em seus compartimentos pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo do solo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; BAYER et al., 2004; NICOLOSO, 2005).

O acúmulo de C em frações lábeis da MOS tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas. A MOS protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a MO livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY et al., 1994).

Sistemas de manejo que promovem diferentes aportes de biomassa vegetal e a aplicação de resíduos de animais podem ter efeitos distintos sobre a fração particulada da MOS, sendo esta possível de ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

O fracionamento granulométrico da MOS (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992) consiste na separação de duas frações: o carbono orgânico particulado (CO_p) e o carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}). O CO_p é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (CO_p > 53µm), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994). O CO_{am} é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo (CO_{am} < 53µm), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de dejetos de suínos, em diferentes tempos e usos do solo num Nitossolo Vermelho Eutrófico, quanto aos teores de COT, no armazenamento de carbono nas frações particulada e associada aos minerais e no C contido no interior dos agregados.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Descrição do local

O estudo foi realizado em Concórdia, SC, em áreas selecionadas conforme uniformidade de relevo, profundidade, granulometria e cor (Tabela 1), próximas entre si, sendo o solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico. O clima é subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual é elevada, geralmente em torno de 2.000 mm bem distribuídos ao longo do ano (SANTA CATARINA, 1991).

4.4.2 Características dos tratamentos

Os tratamentos consistiram de diferentes históricos e tempos de aplicação de dejetos de suínos, no modo tradicional de descarte, conforme segue (Tabela 2): milho

para silagem com 7 anos de aplicação de dejetos (M7); milho para silagem com 20 anos de aplicação (M20); pastagem anual com 3 anos de aplicação (P3); pastagem anual com 15 anos de aplicação (P15); pastagem perene com 20 anos de aplicação sem pastejo (PP20); erva mate com 20 anos de aplicação (EM20); e mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0).

4.4.3 Amostragem de solo

O delineamento utilizado é amostral, com coletas de oito amostras em cada área, realizadas de forma sistemática em transecto com pontos espaçados de 10 metros entre si. A coleta das amostras foi realizada em setembro de 2009, nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm. As coletas para análises químicas foram compostas de 10 sub-amostras retiradas no entorno do local de coleta dos anéis.

4.4.4 Análises químicas

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada por combustão úmida, com oxidação com dicromato de potássio e quantificação por titulometria, de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995).

O carbono orgânico particulado (COP), foi fracionado a partir da mistura de 20g de solo e 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}), agitado por 16 horas e passagem da suspensão em peneira de $53\mu\text{m}$ (CARBARDELLA e ELLIOT, 1992). Após o fracionamento, as amostras foram secas a 60°C , moídas em gral de porcelana e analisadas quanto o teor de carbono pelo método descrito anteriormente.

O carbono contido no interior dos agregados (C-agregados) foi analisado depois da avaliação da estabilidade de agregados, determinada pelo método de peneiramento úmido em amostras destorroadas e tamisadas entre 8,0 e 4,75 mm, conforme método descrito por Kemper e Chepil (1965). Nos agregados retidos nas peneiras das classes 1 (diâmetro entre 8,0 e 4,75 mm), classe 2 (diâmetro entre 4,75 e 2 mm) e classes 3 (diâmetro inferior a 2,0 mm), secos a 60°C , foi analisado carbono orgânico pela metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os estoques (Mg ha^{-1}) de COT e COP foram calculados levando-se em consideração os valores de densidade de solo. Já o estoque de carbono orgânico

associado aos minerais (COam), foi calculado pela diferença entre os estoques de COT (Mg ha^{-1}) e COP (Mg ha^{-1}).

4.4.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e de comparação de médias pelo teste “t”.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Carbono orgânico total e particulado

Os teores de carbono foram influenciados pelos sistemas de uso do solo e pela aplicação de fertilizantes orgânicos, e de modo geral a concentração de carbono orgânico foi maior na fração particulada (g kg^{-1}) em relação à fração total (g kg^{-1}) de carbono (Tabela 11) no solo em todas as áreas estudadas.

Quanto aos estoques (Tabela 12) de carbono orgânico (Mg ha^{-1}), o COP foi mais sensível as alterações de manejo, e as maiores quantidades foram observadas na fração total, sendo este comportamento semelhante nas três camadas avaliadas, fato também foi observado por Costa et al. (2004). Isso indica que os estoques de COP constituem-se num indicador mais sensível à qualidade dos sistemas de manejo, possibilitando verificar o efeito em curto e longo prazo (BAYER et al., 2001, 2002).

Na concentração de carbono na fração particulada, as diferenças observadas entre as áreas estudadas podem ser relacionadas com a maior influência no teor do carbono dos resíduos vegetais deixados na superfície pelas diferentes coberturas vegetais, os quais podem apresentar maior resistência ao processo de mineralização (LOSS et al., 2009).

Tabela 11 – Concentração de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Profundidade			Média Ponderada	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
----- COP g kg ⁻¹ (concentração)-----					
M7	59,12 CD	28,2 B	34,6 AB	39,1 C	60,8
M20	71,06 BC	60,30 A	38,2 AB	51,9 AB	16,7
P3	70,38 BC	50,68 A	41,5 AB	51,0 AB	30,0
P15	46,36 D	37,0 B	34,4 AB	38,0 C	13,5
PP20	67,06 C	35,4 B	31,9 AB	41,5 BC	9,2
EM20	84,30 AB	31,23 B	27,6 B	42,7 BC	19,2
MN	94,33 A	60,1 A	46,8 A	62,0 A	12,4
P0	58,80 CD	36,3 B	28,1 B	37,8 C	14,8
----- COT g kg ⁻¹ (concentração)-----					
M7	18,1 C	15,32 CD	21,7 D	19,2 EF	4,9
M20	18,8 C	16,6 CD	22,1 D	19,9 DEF	5,9
P3	22,5 B	20,1 B	28,7 B	25,0 B	10,5
P15	15,0 D	16,6 D	21,5 D	18,0 F	5,0
PP20	23,78 B	18,2 BC	25,6 C	23,3 BC	4,6
EM20	24,8 B	16,06 CD	21,4 D	20,9 DE	8,1
MN	63,10 A	49,3 A	36,6 A	46,4 A	7,6
P0	23,78 B	15,6 CD	23,3 CD	21,5 CD	8,9

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t ($P < 0,05$). *CV: Coeficiente de variação.

Para os estoques de carbono orgânico total as diferenças observadas entre as áreas podem ser relacionadas tanto às diferentes coberturas vegetais e quanto pelos diferentes tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves, o que pode proporcionar um maior acúmulo de carbono.

Mellek et al. (2010), estudando a aplicação de diferentes quantidades de dejetos líquido de bovinos em um Cambissolo, verificou aumento nos estoques de carbono quando se tinha uma maior dose aplicada.

A mata nativa apresentou as maiores concentrações (Tabela 11) de carbono em relação às demais áreas, entretanto, não se diferiu de P3 e M20. A área de cultivo de milho com 20 anos de aplicação teve maior concentração de COP que M7 e quando comparado aos sistemas de manejo que recebem dejetos por 20 anos, M20 não se diferiu de EM20 e PP20. O menor valor de COP encontrado em M7 pode ser devido à pequena quantidade de resíduos vegetais presentes na área, uma vez que o solo depois da colheita do milho para silagem ficava em pousio.

Tabela 12 - Estoque de carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado aos minerais (COam) em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Profundidade			Soma	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
----- COP Mg ha ⁻¹ (estoque)-----					
M7	3,45 CDE	2,80 B	2,21 CD	7,4 CDE	46,7
M20	3,17 ED	1,25 D	0,95 D	7,6 CDE	26,8
P3	3,77 CDE	6,04 A	2,15 CD	10,2 BC	39,8
P15	1,93 E	2,84 B	7,32 A	5,5 DE	20,7
PP20	5,27 BC	1,55 CD	9,89 B	5,2 E	13,7
EM20	4,66 CBD	2,83 B	2,20 CD	8,3 CD	35,4
MN	11,65 A	2,37 BC	2,75 BC	25,0 A	18,5
P0	6,30 B	1,44 CD	3,67 BC	13,0 B	21,9
----- COT Mg ha ⁻¹ (estoque)-----					
M7	11,55 CD	11,79 BC	10,20 D	47,5 C	6,5
M20	11,75 CD	9,40 D	10,09 D	49,1 C	6,6
P3	13,40 BC	24,12 A	26,74 C	58,5 B	12,3
P15	10,12 D	12,42 B	37,42 A	46,5 C	8,2
PP20	12,90 CB	10,38 CD	25,77 C	51,2 C	2,8
EM20	14,29 B	9,26 D	26,97 C	50,6 C	11,1
MN	25,67 A	10,65 BCD	26,58 C	87,2 A	9,7
P0	14,37 B	9,48 D	32,73 B	49,4 C	10,7
-----COam Mg ha ⁻¹ (estoque)-----					
M7	8,10 D	8,15 C	23,82 B	40,0 DE	13,8
M20	8,57 BCD	8,28 BC	24,59 B	41,4 D	7,2
P3	9,63 B	9,58 B	29,06 A	48,2 B	7,7
P15	8,18 CD	8,04 C	24,77 B	40,9 D	8,0
PP20	8,99 BCD	9,14 BC	27,88 A	46,0 BC	3,3
EM20	9,63 BC	8,82 BC	23,88 B	42,3 CD	10,1
MN	14,01 A	18,07 A	30,09 A	62,1 A	10,1
P0	8,06 D	6,43 D	21,87 B	36,3 E	8,3

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t (P <0,05). *CV: Coeficiente de variação.

Para as áreas de pastagem, a concentração de COP, também pode ser atribuída ao sistema radicular mais desenvolvido e bem distribuído das gramíneas, o que favorece a elevada deposição de carbono ao solo na forma de raízes (RANGEL e SILVA, 2007).

Na soma das três camadas, MN apresentou o maior valor de estoque de COT em comparação às demais áreas (Tabela 12), podendo verificar que os maiores tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos, juntamente com o manejo emprego ao solo proporcionaram menor quantidade de COT. Ragel e Silva (2007), estudando estoques de carbono em diferentes sistemas de uso e manejo de um Latossolo, concluíram que o cultivo do solo reduziu o teor de carbono em 28% em relação ao solo sob mata nativa.

Na camada superficial (0-5 cm) das áreas com vinte anos de aplicação e sem mobilização do solo (EM20 e PP20) as quantidades de COT foram maiores em relação

as demais áreas, 14,29 e 12,90 Mg ha⁻¹ respectivamente, porém menores que a mata nativa 25,67 Mg ha⁻¹. Este comportamento pode estar associado ao não revolvimento e ciclagem interna, uma vez que ambas não são pastejadas, ocasionando maior aporte de resíduos orgânicos, além da aplicação de fertilizantes orgânicos por mais tempo.

As áreas com cultivo de milho não se diferiram entre si na camada superficial e na soma das três camadas, podendo verificar baixas quantidades de COT, fato que pode ser relacionado primeiramente às altas exportações de biomassa, por ser uma lavoura destinada a silagem com duas safras anuais e pelo manejo empregado ao solo.

O preparo convencional no M20 incorpora os resíduos culturais e os dejetos em diferentes camadas do solo, favorecendo a mineralização da matéria orgânica (BAYER et al., 2000), enquanto que em M7, o solo permanece em pousio durante o inverno e todo o aporte de biomassa da cultura do milho é destinada para silagem.

O COam é, normalmente, menos modificado pelas diferentes formas de manejo adotadas. A mata nativa apresentou o maior valor de COam na soma das três camadas (Tabela 12), sendo portanto relacionado ao avançado estágio de humificação. A estabilidade do COam está relacionada à interação com a fração mineral e com a proteção física que ocorre no interior de microagregados (< 53µm) (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Outro aspecto importante é que o efeito do manejo na matéria orgânica protegida em microagregados deve ser dependente da textura e, principalmente da mineralogia, as quais influenciam na estabilidade de agregados (BAYER et al., 2004). Nesse sentido os tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos e o manejo empregado ao solo, provocaram a diminuição do COam, provavelmente em virtude destes ocasionarem ruptura dos microagregados, expondo o carbono à ação microbiana.

Dentre as áreas que recebem aplicação de fertilizantes orgânicos, pastagem com 3 e 20 anos de aplicação apresentaram maiores valores de COam, onde o dejetos aplicado depois de passar pela mineralização pode ter se associado à matriz do solo, com aumento dos valores de carbono orgânico associado aos minerais em relação as áreas que recebem dejetos suínos.

4.5.2 Carbono orgânico por classe de agregados

O solo cultivado com erva mate com 20 anos de aplicação apresentou maiores teores de carbono orgânico em todas as classes de agregados e em todas as camadas (Tabela 12), enquanto que MN, apresentou os menores valores de carbono, não diferindo de M20, PP20 e P0 em todas as classes de agregados.

Práticas de manejo que preconizam menor revolvimento do solo e maior adição de resíduos orgânicos na superfície do solo aumentam os teores de carbono e desencadeiam processos físicos, químicos e biológicos sinérgicos entre si, como é o caso do aumento da estabilidade dos agregados e dos estoques de carbono orgânico no solo (ROSCOE et al., 2006).

Na média das três camadas, e em todas as classe de agregados, além de EM20 os maiores valores de carbono foram observados em milho com 7 anos e pastagem com 3 anos de aplicação, sendo que M7 e EM20 não diferiram de P15, na classe de COa, enquanto nas classes COTb e COTc, somente M7 não diferiu de P15.

Na área com cultivo de erva mate com 20 anos de aplicação e na área de pastagem com 15 anos esses altos valores de carbono podem ser relacionados ao tempo de aplicação de fertilizantes orgânicos, assim como pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo. Além disso, Moreira e Siqueira (2006) verificaram que solos submetidos a cultivos, e que apresentam modificações físicas provocadas pela compactação ocasionada por tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal, podem limitar o crescimento e a atividade dos microrganismos, alterando a atmosfera do solo e diminuindo, assim, a taxa de decomposição da matéria orgânica.

A agregação está relacionada à proteção física de frações lábeis da matéria orgânica, reduzindo a biodegradação. As maiores adições de carbono ao solo sob plantio direto, como no caso de milho com 7 anos de aplicação, associadas à menor exposição dos agregados na superfície do solo ao impacto das gotas de chuva e à saturação rápida contribuem para a maior estabilidade de agregados, no interior dos quais a fração orgânica encontra-se fisicamente protegida dos microrganismos e de suas enzimas (BALESDENT et al., 2000).

Os agregados pertencentes à classe de COTa são formados por agregados de maior dimensão e material orgânico constituído por resíduos vegetais menos decompostos.

Tabela 12 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico total em agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,75 mm (COTa), 4,75 e 2 mm (COTb) e inferior a 2,0 mm (COTc) em três camadas em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Camada			Média
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	
	-----DMP (mm)-----			
M7	5,28 B	5,18 C	5,06 BC	5,17 C
M20	5,78 A	5,75 AB	5,59 A	5,70 A
P3	6,06 A	5,76 AB	5,80 A	5,87 A
P15	5,79 A	5,88 A	5,62 A	5,76 A
PP20	5,88 A	5,64 AB	5,49 AB	5,67 A
EM20	5,90 A	5,47 BC	4,85 C	5,40 B
MN	5,78 A	5,82 A	5,69 A	5,76 A
P0	5,74 A	5,81 A	5,45 AB	5,66 A
	-----COTa (g kg ⁻¹)-----			
M7	16,1D	17,3 A	16,6 ABC	16,6
M20	16,2 D	16,6 ABC	15,3 E	16,0
P3	17,0 B	16,5 BC	17,2 A	16,9
P15	16,8 BC	16,2 BC	16,3 BCD	16,4
PP20	16,4 BCD	16,0 C	16,0 CDE	16,1
EM20	18,3 A	17,3 A	16,8 AB	17,5
MN	15,9 D	16,8 AB	15,5 E	16,1
P0	16,3 CD	16,3 BC	15,8 DE	16,1
	-----COTb (g kg ⁻¹)-----			
M7	16,0 CD	17,0 B	16,8 AB	16,6
M20	16,0 CD	16,4 BC	15,5 C	16,0
P3	16,9 B	16,4 BC	17,2 A	16,9
P15	17,0 B	16,1 C	16,1 BC	16,4
PP20	16,6 BC	16,4 BC	15,7 C	16,2
EM20	18,7 A	17,7 A	16,9 A	17,8
MN	15,7D	16,4 BC	15,4 C	15,8
P0	16,3 CD	16,0C	15,8 C	16,0
	-----COTc (g kg ⁻¹)-----			
M7	15,7 DE	17,1 B	17,1 AB	16,7
M20	15,9 DE	16,1 C	15,4 C	15,8
P3	18,2B	16,4 BC	17,6 A	17,4
P15	17,0 C	16,2 C	16,2 BC	16,5
PP20	16,2 CDE	16,0 C	15,9 C	16,1
EM20	19,3 A	18,1 A	17,6 A	18,3
MN	15,4 E	16,4 BC	15,3 C	15,7
P0	16,3 CD	15,8 C	15,8 C	16,0

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t (P < 0,05).

Segundo Santos et al., (2008), os polissacarídeos são os componentes orgânicos de grande influência na estabilização dos macroagregados, sendo que a principal fonte destes consiste na devolução periódica de resíduos vegetais e animais ao solo e a contribuição via raízes de plantas, o que pode ser relacionado aos maiores teores de carbono verificados em M7, EM20 e P15.

Já a contribuição dos agregados nas classes COTb e COTc quanto ao teor de carbono, pode ser relacionada às macromoléculas humificadas (ROSCOE et al., 2006). Com a aplicação continuada de dejetos suínos, estes após servirem de substrato para a atividade microbiana, são humificados e a estabilização do carbono no solo pode estar relacionada à interação com a matriz mineral, conservando-o em locais inacessíveis aos microrganismos (VEEN e KUIKMAN, 1990).

4.6 CONCLUSÃO

- 1- Os teores de carbono orgânico foram menores nas áreas cultivadas, comparativamente ao solo sob vegetação natural, indicando que tal perturbação desencadeia o processo de degradação e perda da qualidade do solo.
- 2- A aplicação de dejetos suínos não modificou os teores de carbono orgânico total do solo.
- 3- COP mostrou-se mais adequado para evidenciar diferenças provenientes dos sistemas de uso e manejo do solo, bem como dos tempos de aplicação de dejetos suínos. As áreas que recebem dejetos por mais tempo, M20, PP20 e EM20 apresentaram maior concentração de COP.
- 4- O uso do solo e a aplicação de dejetos aumentaram os estoques de carbono nos agregados para M7, P3 e EM20 em relação da MN.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves sobre o solo dependem do tempo de aplicação desses resíduos e variam conforme o manejo empregado nas áreas agrícolas, em especial, com o tipo de preparo do solo, cultura e intensidade de extração de biomassa e nutrientes.

É importante salientar, que a adição de fertilizantes orgânicos ao solo, é uma importante forma de destino destes resíduos, servindo de fonte de nutrientes para as plantas e de matéria orgânica para o solo. O monitoramento destas áreas é uma importante ferramenta para verificar sua influência ao longo do tempo sobre a qualidade do solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B.J.R. et al. **Manejo de sistemas agrícolas**: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, 2006. 216 p.

ANDRADE, A. P., et al. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.393-404, 2010.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.857-865. 2000.

ARRUDA, C. A. O. et al. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DOS CRIADORES DE SUÍNOS. ACCS. **Relatório Anual**. 23 p. 2009. Disponível em: <http://www.accs.org.br/index>. Acesso em: 12 de dezembro de 2010.

BALESDENT, J. et al. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 53, p.215-230, 2000.

BARILLI, J. Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Botucatu, 2005, 120p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP.

BARZEGAR, A.R.; YOUSEFIL, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant and Soil**, v.247, p.295-301, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.235-239, 1997.

_____. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-26.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p.101-109, 2000.

_____. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p.1473-1478, 2001.

_____. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil, **Plant and Soil**, v. 238, p.133-140, 2002.

_____. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BRANCALIÃO, S.R.; MORAES, M.H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.393-404, 2008.

BUYANOVSKY, G.A. et al . Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1167-1173, 1994

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p.83-188, 1995.

CARVALHO, E. J. M. et al. Comportamento físico-hídrico de um podzólico vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.2, p.257-265, 1999.

CERETTA, C.A., et al. Características químicas de solo sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p.729-735, 2003.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. CQFS. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

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**, vol.29, p. 777-788. 2005,

COSTA, J.B. Caracterização e constituição do solo. 29.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkion, 1979. 527p.

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**, v.27, p.527-535, 2003.

- _____. Aumento da matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p. 587-589, 2004.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994 p.3-21.
- 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**, v.28, p. 505- 517, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 2004. 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.1043-1068, 1994.
- HATI, K.M. et al. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. **Bioresource Technology**, v.97, p.2182-2188, 2006.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society Agronomy, p. 499-510, 1965. (Agronomy Monograph, 9)
- KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.
- LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environment Science Pollution**, v.2, p.177-185, 1999.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. 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. p.37-51. (Special Publication, 35)
- LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39, p.1067-1072. 2009.
- MELLEK, J.E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil & Tillage Research** v.110, p. 69–76, 2010.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v 27, p. 31-36, 1962.

NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto. 2005. 150p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

NOVAIS, R. F. et al.: **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-375.

PAGLIAI, M.; BISSDOM, E.B.A.; LEDIN, S. Chances in surface structure (crusting) after application of sewage sludge and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. **Geoderma**, v.30, p.35-53, 1983.

PETEAN, L. P. et al. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1515-1526, 2010.

PORTELA, J. C. et al. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1353-1364. 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623. 2007.

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

ROJAS, C.A.L.; VAN LIER, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um Podzólico em função de sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, p.105-115, 1999.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p.

SANTA CATARINA. Secretaria de estado de coordenação geral e planejamento. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro. Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96p.

SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2008. 636p.

SCHERER, E. E. et al. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SEGANFREDO, M.A. Efeito de dejetos líquidos de suínos sobre algumas características físicas do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998.

_____. **Gestão ambiental na suinocultura.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 302p.

SEGANFREDO, M.A. et al. **Potencial fertilizante e poluente dos dejetos de suínos no contexto das pequenas propriedades do Oeste de SC.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 342)

SILVA, M. A. S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 329-337, 2006.

_____. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p.544-552, 2005.

SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas:** Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 23p. (Documentos, 19)

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**, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry:** Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York. John Wiley & Sons, 1994. 496p.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**, v. 96, p. 153-156, 1963.

TEDESCO, M.J. et al.: **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.174p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

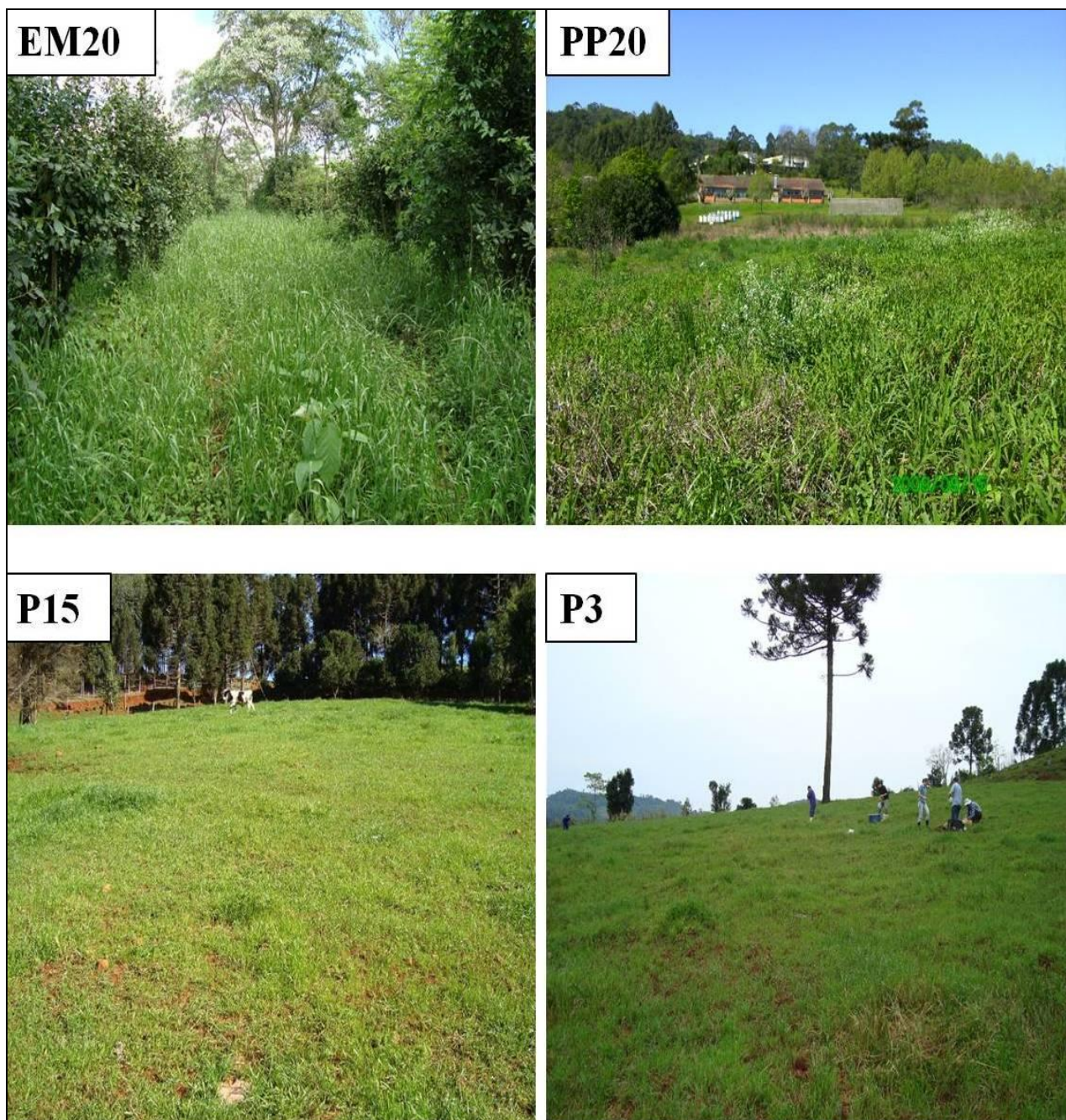
VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VAN LIER, Q. de J. **Física do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 280p.

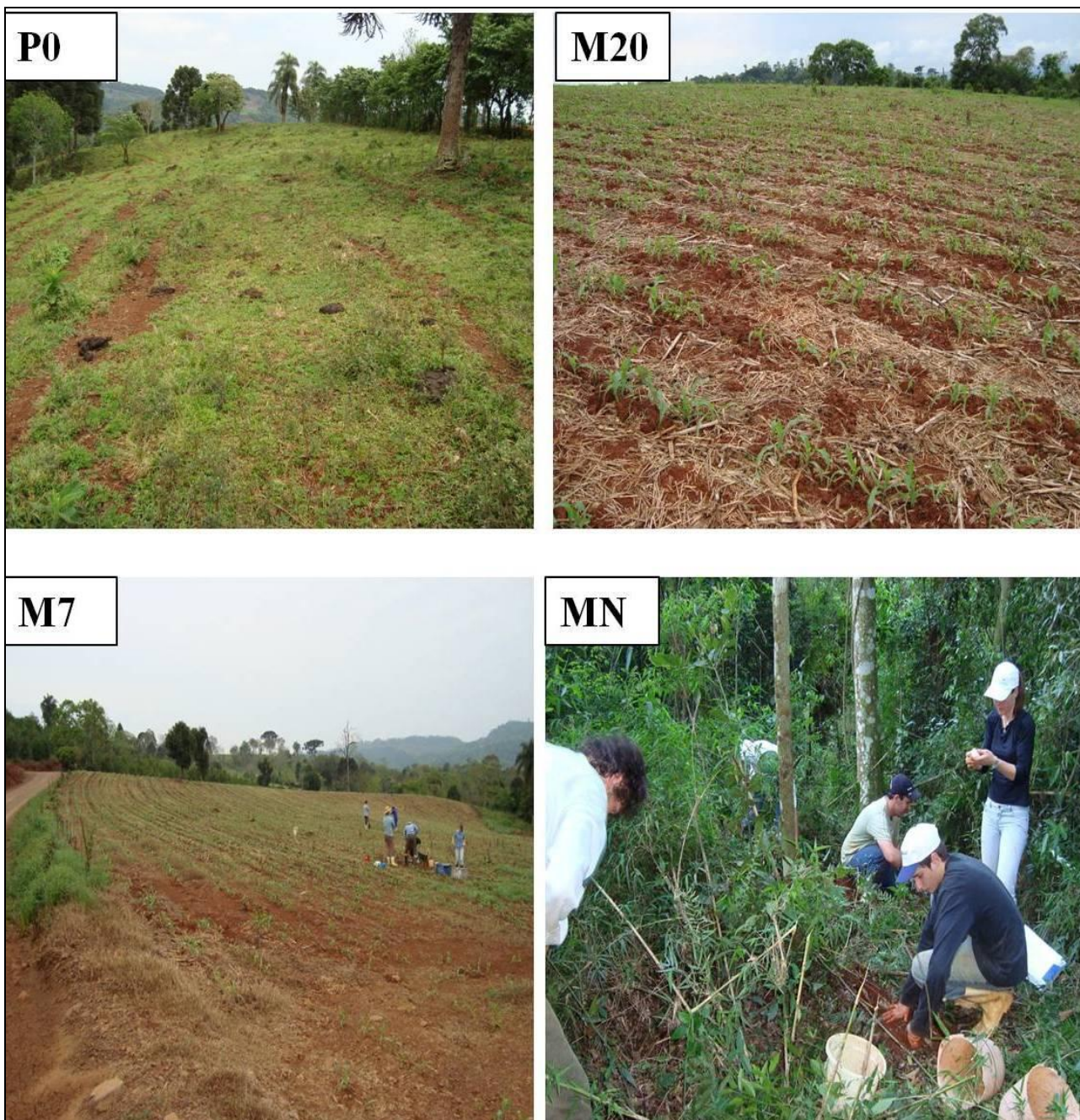
VEEN, J.A., KUIKMAN, P.J. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. **Biogeochemistry**, v.11, p.213-223, 1990.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.84, p.28-40, 2005.

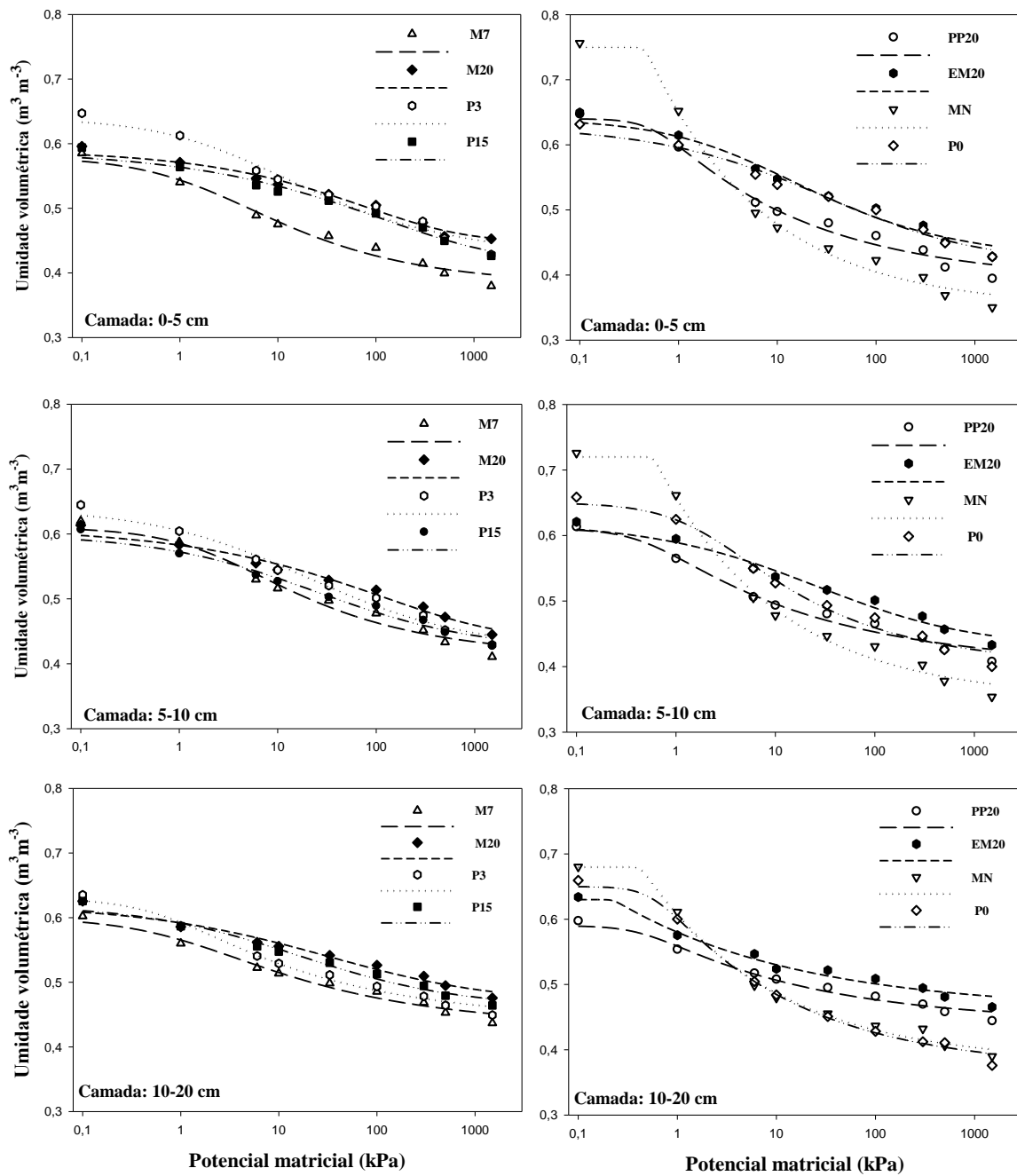
ANEXOS



Anexo 1- Erva Mate 20 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos (EM20); Pastagem Perene 20 anos (PP20); Pastagem com 15 anos (P15); Pastagem com 3 anos (P3).



Anexo 2- Pastagem sem aplicação de fertilizantes orgânicos(P0); Milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos (M20); Milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos (M7); Mata Nativa (MN).



Anexo 3- Curva de retenção de água, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves (M7: milho com 7 anos de aplicação de dejetos suínos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação de dejetos; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa) num Nitossolo Vermelho Eutrófico, incluindo as camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.

Anexo 4- Valores médios da umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$) nos potenciais matriciais de 0 kPa (saturação), 1 kPa, 6 kPa, 10kPa (CC), 30 kPa, 100 kPa, 300kPa, 500kPa e 1.500kPa (PMP) em três camadas das áreas sob diferentes sistemas de usos e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Potencial matricial								
	0	-1	-6	-10	-33	-100	-300	-500	-1500
-----kPa-----									
Camada 0-5 cm									
-----Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$)-----									
M7	0,58 C	0,54 D	0,48 D	0,47 C	0,45 BC	0,43 BC	0,41 BC	0,39 B	0,38 CD
M20	0,59 C	0,57 DC	0,54 AB	0,53 A	0,52 A	0,50 A	0,47 A	0,45 A	0,45 A
P3	0,64 B	0,61 B	0,55 AB	0,54 A	0,52 A	0,50 A	0,48 A	0,45 A	0,42 A
P15	0,59 C	0,56 D	0,53 BC	0,52 B	0,51 A	0,49 A	0,47 A	0,45 A	0,42 AB
PP20	0,64 B	0,59 BC	0,51 CD	0,49 BC	0,47 B	0,46 B	0,43 B	0,41 B	0,39 CB
EM20	0,65 B	0,61 B	0,56 A	0,54 A	0,52 A	0,50 A	0,47 A	0,45 A	0,42 A
MN	0,75 A	0,65 A	0,49 D	0,47 C	0,44 C	0,42 C	0,39 C	0,36 C	0,35 D
P0	0,63 B	0,60 BC	0,55 AB	0,53 A	0,52 A	0,50 A	0,47 A	0,45 A	0,42 A
Camada 5-10 cm									
-----Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$)-----									
M7	0,62 BC	0,58 BC	0,53 AB	0,51 AB	0,49 ABC	0,47 BC	0,45 B	0,43 BC	0,41 BC
M20	0,61 BC	0,58 BC	0,55 A	0,54 A	0,52 A	0,51 A	0,48 A	0,47 A	0,44 A
P3	0,64 BC	0,60 BC	0,56 A	0,54 A	0,52 AB	0,50 AB	0,47 AB	0,45 ABC	0,43 AB
P15	0,60 C	0,57 C	0,53 AB	0,53 AB	0,50 ABC	0,49 ABC	0,46 AB	0,44 ABC	0,42 ABC
PP20	0,61 BC	0,56 C	0,50 B	0,50 B	0,48 C	0,46 C	0,44 B	0,42 C	0,40 BC
EM20	0,62 BC	0,59 BC	0,54 A	0,54 A	0,51 AB	0,50 AB	0,47 AB	0,45 AB	0,43 AB
MN	0,72 A	0,66 A	0,50 B	0,50 B	0,44 D	0,43 D	0,40 C	0,37 D	0,35 D
P0	0,64 B	0,62 AB	0,55 A	0,55 A	0,49 BC	0,47 BC	0,44 B	0,42 C	0,40 C
Camada 10-20 cm									
-----Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$)-----									
M7	0,60 CD	0,55 CD	0,52 BC	0,51 C	0,50 DC	0,48 CD	0,46 B	0,45 B	0,43 C
M20	0,62 DC	0,58 AB	0,52 BC	0,55 A	0,54 A	0,52 A	0,51 A	0,49 A	0,47 A
P3	0,63 BC	0,58 AB	0,54 AB	0,52 BC	0,51 BDC	0,49 BDC	0,47 B	0,46 AB	0,45 ABC
P15	0,62 CD	0,58 AB	0,55 A	0,54 AB	0,53 AB	0,51 AB	0,49 AB	0,47 AB	0,46 AB
PP20	0,59 D	0,55 D	0,51 BC	0,50 CD	0,49 D	0,48 D	0,47 B	0,45 B	0,44 BC
EM20	0,63 BC	0,57 BDC	0,54 A	0,54 AB	0,52 ABC	0,51 ABC	0,49 AB	0,48 AB	0,46 AB
MN	0,68 A	0,61 A	0,49 C	0,48 E	0,45 E	0,43 E	0,43 C	0,40 C	0,39 D
P0	0,66 AB	0,60 AB	0,50 C	0,48 DE	0,45 E	0,42 B	0,41 C	0,41 C	0,37 D

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem perene com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação de dejetos; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na coluna comparam tratamento, teste t ($P < 0,05$).

Anexo 5- Parâmetros referentes à equação de Van Genuchten, para as áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico, para as três camadas avaliadas, no qual, os valores extremos de umidade foram fixados em: 0 kPa (umidade saturado: Θ_S) e 1.500 kPa (umidade residual: Θ_R).

Tratamento	Camada ---cm---	Parâmetros da equação de Van de Genuchten					CA*
		α (1/cm)	n	m	Θ_R	Θ_S	
M7	0-5	0,4829	0,8146	0,4673	0,58	0,37	0,97
M20	0-5	1,2848e ⁰¹³	0,4360	61573,4	0,59	0,45	0,97
P3	0-5	0,2462	0,7352	0,4761	0,64	0,42	0,97
P15	0-5	2,7793e ⁻⁰¹⁴	0,3696	17382,6	0,59	0,42	0,97
PP20	0-5	1,7718	2,6304	0,1095	0,64	0,39	0,97
EM20	0-5	0,1651	0,7153	0,5496	0,64	0,42	0,97
MN	0-5	2,1901	16,0545	0,0230	0,75	0,35	0,99
P0	0-5	0,1651	0,7153	0,5496	0,63	0,42	0,97
M7	5-10	0,3948	0,9524	0,3748	0,61	0,41	0,97
M20	5-10	6,0595e ⁻¹⁴	0,3650	11684,1	0,61	0,44	0,97
P3	5-10	0,0659	0,5530	0,8633	0,64	0,42	0,97
P15	5-10	0,0433	0,5299	0,9625	0,60	0,42	0,97
PP20	5-10	2,0916	1,7604	0,1471	0,61	0,40	0,97
EM20	5-10	0,0071	0,5292	0,8406	0,62	0,43	0,98
MN	5-10	1,6875	22,0856	0,0159	0,72	0,35	0,99
P0	5-10	0,5301	1,2326	0,2941	0,65	0,40	0,98
M7	10-20	0,9558	0,8484	0,3380	0,60	0,43	0,97
M20	10-20	0,0104	0,4276	1,5779	0,62	0,47	0,96
P3	10-20	1,4829	1,2174	0,2288	0,63	0,44	0,98
P15	10-20	0,0750	0,5474	0,9129	0,62	0,46	0,97
PP20	10-20	2,3048	2,1448	0,1210	0,59	0,44	0,97
EM20	10-20	4,4312	14,5581	0,0161	0,63	0,46	0,97
MN	10-20	2,3362	15,6335	0,0100	0,68	0,38	0,99
P0	10-20	1,7368	2,9212	0,1071	0,65	0,37	0,99

*CA: coeficiente de ajuste do valor referente à umidade volumétrica na curva de retenção de água do solo.

Anexo 6- Parâmetros referentes à equação de Van Genuchten, para as áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico, na média da profundidade de 0-20 cm, na qual, os valores extremos de umidade foram fixados em: 0 kPa (umidade de saturação: Θ_S) e 1.500 kPa (umidade residual: Θ_R).

Tratamento	Parâmetros da equação de Van de Genuchten					CA*
	α --(1/cm)--	n	m	Θ_R	Θ_S	
-----Profundidade: 0-20 cm-----						
M7	0,2253	0,6617	0,7149	0,41	0,60	0,98
M20	1,7489 e ⁻⁰¹	0,3427	11766,15	0,45	0,61	0,96
P3	0,2989	0,7120	0,5794	0,43	0,64	0,98
P15	2,0867 e ⁻⁰⁰	0,3776	65,9673	0,43	0,60	0,98
PP20	2,2690	1,8077	0,1567	0,41	0,62	0,97
EM20	0,0252	0,4765	1,4019	0,44	0,63	0,97
MN	2,0445	18,4575	0,0198	0,36	0,72	0,99
P0	0,8955	1,0487	0,3338	0,40	0,65	0,98

*CA: coeficiente de ajuste do valor referente à umidade volumétrica na curva de retenção de água do solo.