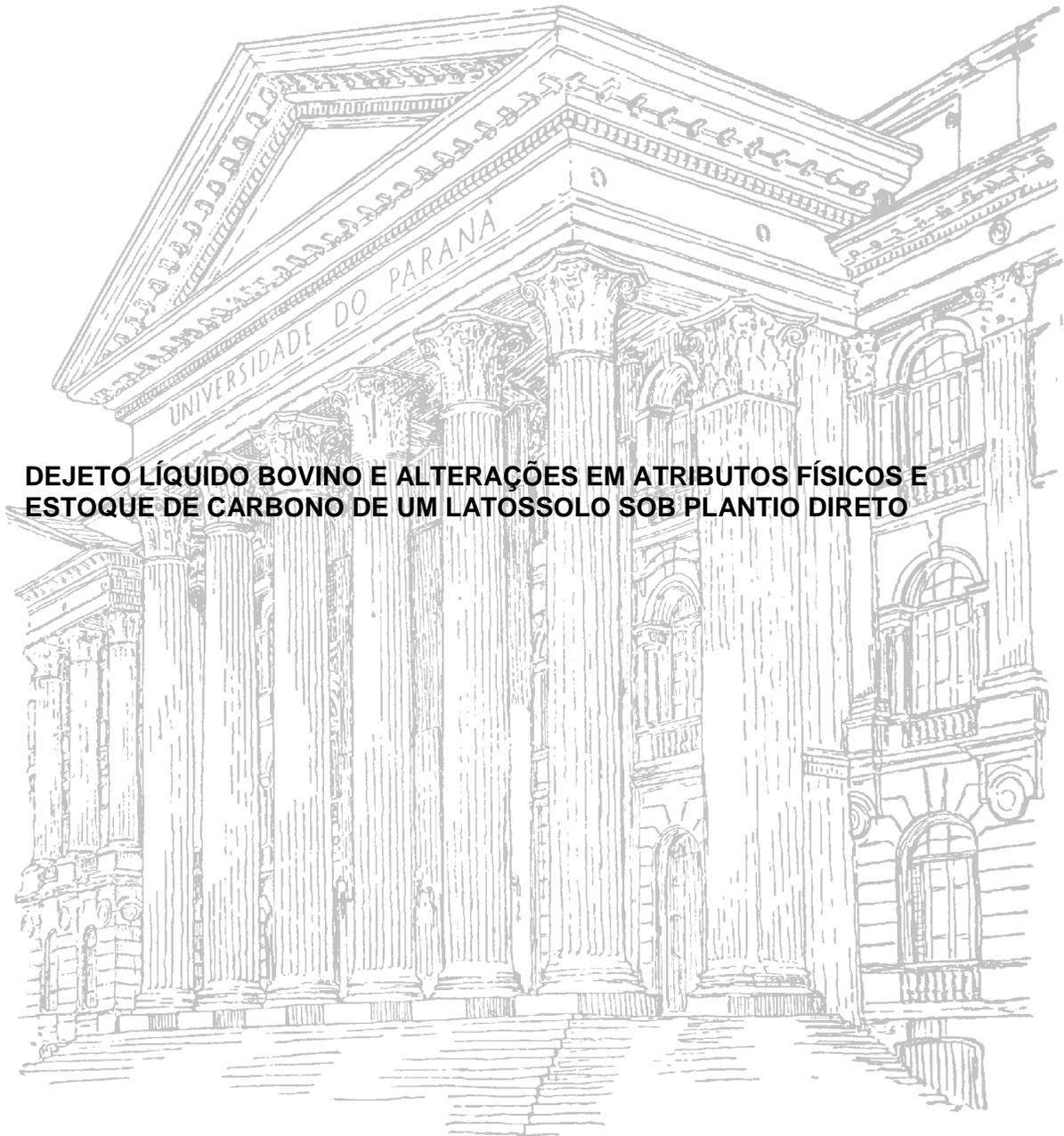


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ ELIAS MELLEK



DEJETO LÍQUIDO BOVINO E ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS E ESTOQUE DE CARBONO DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO

CURITIBA
2009

JOSÉ ELIAS MELLEK

**DEJETO LÍQUIDO BOVINO E ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS E
ESTOQUE DE CARBONO DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Jeferson Dieckow
Co-orientadora: Prof^a. Nerilde Favaretto

CURITIBA
2009

Mellek, José Elias

Dejeto líquido bovino e alterações em atributos físicos e
Estoque de carbono de um latossolo sob plantio direto / José Elias Miellek –
Curitiba, 2009.

50 f.

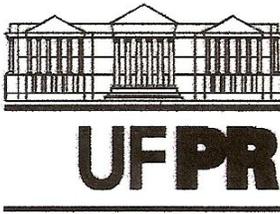
Orientador: Jefferson Diecokow.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de
Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

1. Bovino – Esterco. 2. Solos – Adubos e fertilizantes. 3. Plantio
direto. I. Título.

CDU 631.454

CDD 631.422



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcisolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOSÉ ELIAS MELLEK**, sob o título: "**Dejeto líquido bovino e alterações em atributos físicos e estoque de carbono de um Latossolo sob plantio direto**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "**Pedologia e Manejo do Solo**".

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 19 de fevereiro de 2009.


Prof. Dr. Jeferson Dieckow, Presidente


Engenheiro Agrônomo Dr. Oromar João Bertol Iº. Examinador


Prof. Dr. Nerilde Favaretto, IIº. Examinadora



Dedico

A DEUS, pai da ciência e a meu grande amigo e senhor, JESUS.

Aos meus amados pais Júlio Mellek e Albany Mellek.

Às minhas irmãs Cátia, Sandra e Lúcia

Aos meus sobrinhos Fábio, Sheren e Jansein

Ao meu cunhado Carlos

Por todo amor, por quem sou e por tudo o que consegui.

*“Filho meu, se aceitares as minhas
palavras
e esconderes contigo os meus
mandamentos,
para fazeres atento à sabedoria o teu
ouvido
e para inclinares teu coração ao
entendimento,
e, se clamares por inteligência,
se buscares a sabedoria como a prata
e como a tesouros escondidos a
procurares,
então, entenderás o temor do SENHOR
e acharás o conhecimento do Deus.”
Pv 2: 1-5*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, proteção, entendimento e motivação.

Ao meu orientador, professor Jéferson Dieckow pela orientação, toda ajuda, amizade e paciência, muito obrigado.

A minha co – orientadora professora Nerilde Favaretto pelo apoio, amizade e acolhimento, obrigado.

À bibliotecária Simone pelo fundamental e eficiente apoio, obrigado.

Ao meu amigo Paulo Marques, pelo apoio e incentivo.

Ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade.

Ao programa Reuni, Capes e Fundação Araucária pelo fundamental apoio financeiro.

À Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária e à sua equipe técnica.

Aos professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela valiosa colaboração.

Aos funcionários e laboratoristas do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, por todo apoio e colaboração.

Aos amigos do Curso de Pós-graduação em Ciências do Solo, pelos momentos, e incentivos. A todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

A aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) em solos sob plantio direto pode causar a poluição de corpos de água, mas por outro lado pode melhorar as características estruturais do solo e diminuir o escoamento superficial e o potencial poluidor. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade estrutural, dada por atributos físicos e hidrológicos do solo, e o estoque de carbono orgânico decorrente da aplicação, por dois anos, de 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB, num Latossolo manejado sob plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná. A aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB diminuiu a densidade, aumentou a macroporosidade e a condutividade hidráulica do solo na camada de 0-5 cm. Houve uma tendência de aumento na proporção de agregados > 4 mm em relação aos agregados menores (0,5-0,25 e < 0,25 mm), pela aplicação da maior dose do DLB. As doses de 60 e 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ apresentaram a mesma tendência, porém não significativa em relação à testemunha. A taxa de infiltração de água aumentou linearmente com o incremento da dose de DLB. A concentração e o estoque de carbono orgânico no solo tenderam a aumentar com a aplicação de DLB, porém de forma ainda não significativa. A aplicação de DLB melhora a qualidade estrutural do solo, dada por atributos físicos e hidrológicos, e possui, portanto, potencial de promover melhorias na qualidade do solo e na qualidade ambiental.

Palavras-chave: Esterco bovino. Estrutura do solo. Atributos físicos.

ABSTRACT

The cattle liquid manure application (BLM) on soil under no till management can cause water body pollution, although, the manure can improve the soil structural characteristics, decrease the soil run off and the pollutant potential. The objective of this search was assessing the soil structural quality, given by the soil physic and hydrologic attributes and organic carbon storage by the application of 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ of BLM on an Oxissol managed under no till system in the Campos Gerais region of the Parana State. The application of 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ of BLM decreased the soil bulk density and improved the soil macro porosity and saturated hydraulic conductivity in the layer of 0-5 cm. There was a increase tendency in the aggregates proportion > 4 mm in relation to smaller aggregates (0,5-0,25 and < 0,25 cm) achieved when the higher BLM dose was applied. The doses of 60 and 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ presented the same increase tendency, however, not significant in relation to the control plot. The water infiltration tax rate increased lineally with the increment of the BLM dose. The concentration and stock of soil organic carbon tended to increase with the BLM application, however not significantly. The BLM application improves the soil structure quality, given by physical and hydrological attributes. Therefore, the BLM has the potential to promote improvements in the soil and environment quality.

Key words: Bovine manure. Soil structure. Physical attributes.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1 - DENSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	27
FIGURA 2 - MACROPOROSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	29
FIGURA 3 - MICROPOROSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	30
FIGURA 4 - DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMP _u) DE AGREGADOS DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	31
FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS EM CLASSES DE TAMANHO, NAS CAMADAS DE 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 (c) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	32
FIGURA 6 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	35

FIGURA 7 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E MACROPOROSIDADE DO SOLO, CONSIDERANDO-SE TODOS OS DADOS DAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 e 10-20 cm.....	36
FIGURA 8 - TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO.....	37
FIGURA 9 - CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 e 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	39
FIGURA 10 - ESTOQUE TOTAL DE CARBONO ORGÂNICO NAS CAMADAS DE 0-20 e 0-40 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. LETRAS ACIMA DAS BARRAS COMPARAM AS DOSES DENTRO DA MESMA CAMADA, DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	41
FIGURA 11 - ADIÇÃO ANUAL DE CARBONO PELAS CULTURAS E PELAS CULTURAS MAIS DEJETO LÍQUIDO BOVINO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. PARA A ADIÇÃO PELAS CULTURAS, FOI CONSIDERADO O RENDIMENTO DE GRÃOS DAS MESMAS (DADOS FORNECIDOS PELA Fundação ABC), O ÍNDICE DE COLHEITA 0,50 E A CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NO TECIDO DE 40%. PARA A ADIÇÃO PELO ESTERCO, FOI CONSIDERADA A CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA SECA NO DEJETO ($33,8 \text{ g L}^{-1}$) E A CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NO RESÍDUO SECO (359 g Kg^{-1}) (MORI, 2007). LETRAS ACIMA DAS BARRAS COMPARAM AS DOSES, DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P<0,10$).....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	UTILIZAÇÃO DE ESTERCO COMO FONTE DE FERTILIZANTES.....	13
2.2	DEJETO ANIMAL E A ESTRUTURA DO SOLO.....	14
2.3	MANEJO DE DEJETOS ANIMAIS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	16
2.4	ALTERAÇÕES NA DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO.....	18
2.5	ALTERAÇÕES NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E NA INFILTRAÇÃO..	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	ÁREA EXPERIMENTAL.....	21
3.2	COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO.....	22
3.3	MACROPOROSIDADE MICROPOROSIDADE, DENSIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO.....	23
3.4	DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPu) DE AGREGADOS.....	23
3.5	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA.....	24
3.6	CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	24
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS.....	26
4.2	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....	33
4.3	CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	38
5	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura é uma importante atividade econômica no País, contando com um rebanho de aproximadamente 207,2 milhões de cabeças, sendo que destes, 20 milhões são bovinos de leite (IBGE, 2005). O Estado do Paraná, com 1,3 milhões de bovinos produtores de leite (IBGE, 2005), representa a terceira maior bacia leiteira do País, com 10,3% da produção nacional de leite. A região dos Campos Gerais comporta a segunda maior bacia leiteira do Estado do Paraná.

O sistema de produção de leite na região dos Campos Gerais é assistido principalmente pelas cooperativas Arapoti, Batavo e Castrolanda é baseado no confinamento total ou semi-confinamento (SILVA, 2005). Um dos problemas ambientais relacionados com a atividade leiteira é a geração de dejetos. De acordo com Vitko (1999), cada animal, neste tipo de criação, tem uma produção diária de 54 kg de dejetos líquidos entre fezes e urina. Este material, quando acrescido da água residual gerada pela limpeza de equipamentos, faz com que o volume de dejetos atinja 200 litros diários por animal.

Na região dos Campos Gerais, o dejetos é utilizado na adubação do solo em sistema de plantio direto. Porém, de acordo com Wiederholt *et al.* (2005), a aplicação de dejetos em solos submetidos à sistemas de manejo onde não ocorre a sua incorporação pode levar a uma estratificação de nutrientes nas camadas mais superficiais. Segundo esses autores, o transporte de nutrientes pelo escoamento superficial é uma grande fonte de contaminação de água por fósforo e nitrogênio, levando à depreciação de corpos de água pela eutrofização. Contudo, se o dejetos for aplicado em taxas agronomicamente corretas, após longos períodos de aplicação, pode proporcionar efeitos positivos na qualidade do solo. Segundo Eghball (2002), estudos de longa duração mostraram que houve aumento na capacidade de troca de cátions, diminuição da densidade do solo e aumento no seqüestro de carbono mediante a aplicação de dejetos animais. A melhoria na qualidade estrutural do solo tem grande impacto na dinâmica da água e nas características hidrológicas do solo, podendo minimizar problemas de erosão e escoamento superficial.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade estrutural, dada por atributos físicos e hidrológicos do solo, e o estoque de carbono orgânico decorrente da

aplicação de dejetos líquido bovino, num Latossolo manejado sob plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UTILIZAÇÃO DE ESTERCO COMO FONTE DE FERTILIZANTES

A utilização de esterco animal para a fertilização do solo é uma prática antiga. Randall *et al.* (2000), relata que há séculos o uso de esterco é um meio adotado para melhorar o crescimento e a produtividade das culturas. Porém, com o surgimento dos adubos químicos, houve uma diminuição da utilização dos adubos orgânicos.

De acordo com Schroder (2005) a utilização de adubos minerais mudou a apreciação pelo uso de adubos orgânicos, como o esterco, por parte de produtores. Contudo, o autor relata que o esterco, atualmente tratado como resíduo, devido às condições ambientais e econômicas vem recebendo um resgate em sua utilização. O alto preço dos fertilizantes minerais e a alta produção de dejetos pela atividade pecuária são motivos para a utilização do esterco na propriedade. Risse *et al.* (2004) reportam que os sistemas de produção animal melhoram o retorno econômico para os produtores. Mas a preocupação com a qualidade do ar e da água originada pelo uso ineficiente do esterco contribui para a mudança deste ponto de vista. Mesmo assim, estes autores afirmam que o uso apropriado do esterco o torna uma fonte de nutrientes e que a sua aplicação no solo em taxas agrônomicas apropriadas representa o destino preferencial a ser dado a esse dejetos. Segundo estes mesmos autores, o esterco é uma excelente fonte dos principais nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, assim como provedor de nutrientes secundários necessários para as plantas.

Enquanto os nutrientes de fontes inorgânicas são mais solúveis na água, estando prontamente disponíveis para extração pela planta, os nutrientes fornecidos pelo dejetos são disponibilizados mais lentamente, o que torna mais complexa a determinação da taxa de aplicação, mas por outro lado, isso contribui para a melhoria de sua utilização pelas plantas podendo, ainda, proporcionar redução nas perdas de nutrientes para águas superficiais e de sub-superfície.

Risse *et al.* (2004), reportam que muitos estudos demonstram que a qualidade das culturas, bem como, a sua produtividade proporcionada pela utilização de esterco animal é igual ou superior à obtida pela aplicação de adubo

químico e tal aspecto é atribuído à melhoria simultânea das condições químicas, físicas e biológicas do solo pela aplicação do esterco, o que nem sempre é observado com a aplicação de fertilizantes químicos. Os benefícios proporcionados pelo uso do esterco animal são observados em resultados de pesquisas que reportam a redução substancial da erosão e do escoamento superficial, mediante aplicação de esterco sólido, fazendo ressalva aos dados menos conclusivos para a aplicação de esterco líquido e de lagoas de efluentes. Outro aspecto positivo, diz respeito ao auxílio na mitigação do CO₂ atmosférico proporcionado pela aplicação do esterco no solo. Porém, todos estes benefícios podem ser aparentes mediante os sérios problemas ambientais que podem ser causados pela utilização inadequada da adubação com dejetos animais. Para estes autores, a redução dos riscos está associada ao tempo, localização e taxa de aplicação do esterco e mesmo sob condições ideais de utilização, envolvem risco ao ambiente. Segundo eles existe uma grande gama de práticas conservacionistas que podem reduzir o impacto na qualidade da água mediante a aplicação de esterco no solo, pois práticas como a utilização de plantio em curva de nível, construção de terraços, cordões vegetados e implantação de matas ripárias, são medidas de controle eficientes na diminuição do escoamento superficial e da erosão.

2.2 DEJETO ANIMAL E A ESTRUTURA DO SOLO

A utilização de dejetos animais como alternativa na adubação de solos agrícolas tem sido vista como um excelente meio de reciclar nutrientes e matéria orgânica, melhorando a qualidade do solo. Os dejetos melhoram importantes características físicas de solo como densidade, porosidade, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica, infiltração e formação de agregados (HAYNES; NAIDU, 1998).

A matéria orgânica do solo é formada a partir da mineralização do esterco e dos restos das culturas que se beneficiam dos nutrientes fornecidos pelo esterco (ANGERS; D'AYEGAMIYE, 1991). A importância da matéria orgânica no processo de agregação do solo é atribuída à capacidade cimentante dos compostos orgânicos formados durante sua mineralização. A taxa de decomposição do esterco é um aspecto importante para o processo, pois resíduos de fácil decomposição,

proporcionam um rápido aumento na agregação das partículas, porém, seu efeito na estrutura do solo vai ser temporário. Contudo, se o material que compõe o resíduo é de lenta decomposição, o efeito de agregação será menor, embora mais duradouro (KHALEEL *et al.*, 1981). Segundo Aoyama *et al.* (1999), a aplicação de esterco animal contribui com o incremento da matéria orgânica particulada, promovendo a macroagregação em curtos períodos de tempo. Em períodos mais longos, a matéria orgânica proveniente do esterco pode ficar associada aos minerais do solo aumentando a estabilidade dos micro-agregados.

A importância da utilização de resíduo animal no processo de agregação vai além de sua atuação direta na formação dos agregados, pois incrementa também a fertilidade o que resulta em aumento de produtividade das culturas e produção de massa seca de raízes (BULLUCK, 2002). As raízes e as hifas de fungos, cujo comportamento é similar ao das raízes finas, promovem uma resistência mecânica na estrutura do solo. As próprias hifas servem como fonte de energia para outros organismos (LYNCH; BRAGG, 1985). Por constituir uma fonte adicional de energia, a adição de esterco animal no solo é fonte de carbono disponível também para o incremento da atividade microbiana (HAYNES; NAIDU, 1998).

Os polissacarídeos estão entre os compostos orgânicos mais importantes por fazerem parte do grupo dos carboidratos que compõem 5 a 25% da matéria orgânica do solo (GUERRA *et al.*, 2008). Eles representam as mucilagens provenientes tanto do metabolismo microbiano (STEVENSON, 1994), quanto da decomposição de resíduos vegetais, animais e da exudação radicular e fúngica (OADES, 1984). Contudo, o efeito de agregação tanto das hifas, quanto de polissacarídeos, são efêmeros devendo haver uma manutenção constante destes elementos para garantir a estabilidade dos agregados (EASH *et al.* 1994). Os polissacarídeos são facilmente atacados por micro organismos, por isso a sua contribuição na agregação somente será representativa mediante aplicações periódicas de resíduos vegetais e ou animais ao solo com intuito de fornecer energia para a atividade microbiana (BAYER; MIEINICZUK, 2008). Tisdall e Oades (1982) relatam que os polissacarídeos, agentes cimentantes transitórios, devido à susceptibilidade à decomposição por micro organismos e enzimas extra celulares, tem um período de duração no solo que pode variar de semanas a alguns meses.

A utilização de esterco bovino no solo em experimentos de longa duração tem demonstrado mudanças positivas em atributos físicos e químicos, Battacharyya *et al.*

(2007). Tais mudanças estão intimamente relacionadas com a qualidade de solo, produtividade das culturas e integridade ambiental. A presença no solo, da matéria orgânica ou carbono orgânico no solo é um indicativo de qualidade que reflete a eficiência das práticas de manejo (LARSON & PIRCE, 1994). Perdas acentuadas de carbono orgânico do solo resulta em baixos estoques de matéria orgânica e isto tem influência diretamente na depreciação da qualidade de solo o que interfere na sustentabilidade dos ecossistemas. Por isso, as perdas de matéria orgânica comprometem as funções básicas do solo depreciando as terras agrícolas pela degradação e diminuição de produtividade. Por outro lado, através da adoção de práticas que resultam no incremento de carbono ao solo, como a adição de esterco bovino, é possível reverter a degradação incrementando atributos de solo, resgatando sua capacidade funcional e importância ambiental.

2.3 MANEJO DE DEJETOS ANIMAIS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

A erosão hídrica constitui a principal forma de erosão que desperta interesse para as condições tropicais predominantes no Brasil (PIRES, et al.; 2006). Neste processo, a desagregação e o transporte de sedimentos provenientes das áreas agrícolas, ocasionados pela energia da chuva e do escoamento superficial, caracterizam tal processo erosivo como um agente de perdas de sedimentos e nutrientes associados (BERTOL, 2005). Por isso, o sistema de plantio direto (SPD) é uma prática de manejo de grande importância pela sua eficácia na prevenção à erosão hídrica do solo (BERTOL, 2007). Este sistema tem sido utilizado com frequência, principalmente, em áreas de culturas anuais sujeitas à ação da erosão (SCHERER *et al.*, 2006), proporcionando não apenas aumentos de produtividade das culturas, através do incremento da qualidade física, química e biológica de solo, mas também, como parte de um conjunto de medidas conservacionistas para a utilização racional e sustentável das áreas agrícolas. Alguns autores relatam os benefícios atribuídos ao SPD destacando a sua eficiência após alguns anos de seu estabelecimento, fazendo com que, principalmente, as camadas mais superficiais do solo apresentem ganhos diferenciados nas condições físicas, químicas e biológicas em relação a sistemas convencionais de manejo de solo, (FALLEIRO *et al.*, 2003, BAYER; MIELNICZUK, 1997). Segundo eles, os incrementos ocorrem em superfície,

principalmente porque é onde os teores de matéria orgânica e atividade biológica são mais elevados. Isto se deve ao não revolvimento do solo o que possibilita a permanência de resíduos culturais favorecendo o acúmulo de matéria orgânica (BAYER; BERTOL, 1999) e concentração de nutrientes nas camadas superficiais.

Porém, em situações onde o plantio direto não é conduzido de maneira correta, pode ocorrer o comprometimento da qualidade estrutural do solo havendo aumento de densidade e diminuição de porosidade (DEFOSSEZ; RICHARD, 2002) em decorrência do tráfego excessivo de máquinas e implementos agrícolas (TORMENA; ROLLOF, 1996). Estas condições comprometem a dinâmica da água no solo, favorecendo o seu escoamento superficial.

Nesse sentido, existe uma real preocupação ambiental na utilização de dejetos animais, não incorporados ao solo, como fonte de adubação, pois o acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais por longos períodos de aplicação, certamente, ocasionará o enriquecimento nutricional da água que escoar em superfície comprometendo a qualidade dos mananciais. O fósforo é um dos principais elementos, com baixa mobilidade que se acumula em superfície e pode estabelecer gradientes de concentração nas camadas inferiores em sistemas com pouca mobilização de solo (QUEIROZ *et al.*, 2004). Este e outros elementos como o nitrogênio podem ser carreados, via escoamento superficial, para corpos hídricos. A eutrofização de rios e lagos é um dos problemas decorrentes de tal escoamento devido à concentração excessiva de nutrientes na água causando crescimento acelerado de algas, bactérias e plantas aquáticas que podem reduzir o nível de oxigênio na água podendo causar a morte de peixes e outros organismos aquáticos. Quando há o crescimento intenso dessas algas em reservatórios de abastecimento doméstico o problema manifesta-se com a alteração da cor, sabor e pela liberação de toxinas nocivas ao ser humano (TUNDISI, 2003).

Por isso o manejo de dejetos animais em áreas agrícolas sob sistemas com um mínimo de revolvimento de solo tem no escoamento superficial motivo de preocupação ambiental que fomenta a busca por soluções através de pesquisas. Uma das alternativas apontadas por pesquisadores consiste na utilização conjunta de práticas conservacionistas que proporcionem proteção ao solo contra a erosão hídrica e escoamento superficial. O esterco animal quando utilizado de maneira correta pode ser incluído neste conjunto de práticas pois, além, dos ganhos em qualidades físicas químicas biológicas, podem representar redução de custos de

produção e de dependência comercial de fertilizantes químicos (WIEDERHOLT *et al.*, 2005).

2.4 ALTERAÇÕES NA DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO

A densidade é um atributo físico que expressa a relação entre a massa do solo por unidade de volume, considera o espaço poroso, partículas minerais e orgânicas de solo (EVAYLO, 2000). Assim como os demais atributos inerentes à estrutura do solo, a porosidade e a densidade são propriedades físicas que manifestam o efeito de práticas agrícolas, como o manejo de dejetos animais e sistemas de cultivo como plantio direto, na qualidade do solo. Estes atributos, por terem uma estreita relação, fazem parte de um conjunto de propriedades que influem diretamente nas funções do solo como trocas gasosas, desenvolvimento radicular e dinâmico da água no perfil do solo (EVAYLO, 2000).

Certas propriedades, como textura, são inalteráveis pela ação antrópica, mas densidade e porosidade podem ser modificadas mediante práticas de manejo que alteram a estrutura do solo. A aplicação de esterco de dejetos animais na adubação de solo pode promover grandes alterações em sua estrutura. A adição de matéria orgânica proporciona a agregação e a diminuição de densidade do solo estabelecendo condições ideais que garantem o desempenho normal de suas funções básicas. Em estudos de longa duração com a utilização de esterco bovino, aplicado anualmente durante cinco anos, Sommerfeldt e Chang (1985) relatam mudanças importantes nas propriedades físicas do solo. A aplicação do esterco influenciou a distribuição do tamanho dos agregados no solo, houve diminuição de agregados < 0,1mm e aumento de agregados > 0,1mm com a utilização da dose intermediária do dejetos na profundidade de 30 cm de solo. Ainda constataram diminuição na densidade de solo na camada de 0-15 cm com o esterco aplicado anualmente.

Utilizando esterco de leiteria, Fares *et al.* (2008) obtiveram significativa diminuição da densidade do solo e incrementos na porosidade. Segundo os autores, a aplicação do esterco aumentou a porosidade total resultando em significativo incremento na condutividade hidráulica do solo que evoluiu em 171% em comparação com o aumento de 57% obtido pela aplicação de esterco líquido de

suínos. Battacharyya *et al.* (2007), ao final de oito anos de aplicação de esterco de curral+NPK, observaram diminuição na densidade do solo, de 1.36 Mg m^{-3} para 1.32 Mg m^{-3} na camada de 0-15 cm com a aplicação do esterco e adubo químico.

2.5 ALTERAÇÕES NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E NA INFILTRAÇÃO

A movimentação da água no solo tem uma estreita relação de dependência com sua porosidade. A macroporosidade do solo é responsável pela circulação rápida da água, onde tanto a água da chuva quanto a de irrigação estão sujeitas às forças gravitacionais. Os macroporos ficam vazios após a drenagem possibilitando as trocas gasosas e penetração de raízes. A microporosidade, por sua vez, é responsável pela circulação mais lenta da água através da capilaridade. Enquanto a macroporosidade é principalmente de origem estrutural, a microporosidade pode ter origem de alterações texturais e estruturais de solo, e é nela também que se encontra a água disponível para as plantas (SILVA, 2007).

Neste contexto, a densidade e a porosidade do solo apresentam-se como mediadoras dos fluxos hídricos sendo influenciadas pelas práticas de manejo. Aumentos na densidade diminuem a porosidade total interferindo na condutividade e na infiltração da água no solo, causando restrição à sua movimentação no perfil. Isso resulta em escoamento superficial, perdas de solo e nutrientes por erosão (EVANYLO *et al.*, 2000). A relação existente entre estes atributos ressalta sua importância para a estrutura do solo com sua capacidade de resposta mediante o manejo adotado. O manejo de dejetos animais, como a aplicação de esterco bovino, é tecnicamente viável e importante quando utilizado em doses agronômicas como fonte de nutrientes e para melhoria de atributos físicos de solo. Resultados de pesquisas indicam que o complemento nutricional e a matéria orgânica fornecida pelos dejetos, beneficiam a qualidade do solo.

Miller *et al.* (2002), em estudo de longa duração utilizando esterco bovino, observaram incrementos na dinâmica da água no solo. Após 24 anos de aplicação anual do dejetos, constataram aumento significativo na macroporosidade do solo com um acréscimo de 128% de poros maiores que $1120 \mu\text{m}$ pela aplicação da maior dose do esterco. Como consequência obteve um incremento na condutividade hidráulica saturada na ordem de 123% em relação à parcela controle. Um

significativo aumento de 294% na taxa de infiltração foi observado, também, com a aplicação da maior dose do dejetos (180 Mg ha^{-1}). Os autores mencionam ter havido uma correlação entre a infiltração e o conteúdo de carbono orgânico no solo. Os mesmos relatam a importância do fluxo preferencial da água através dos macroporos sob condições de solo saturado, alertando sobre a possibilidade de ocorrer lixiviação de nutrientes nestas condições de porosidade, o que pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas. Contudo, enfatizam haver uma menor probabilidade de escoamento superficial e uma maior infiltração durante chuvas de alta intensidade devido à formação de grandes poros ($>1120 \mu\text{m}$) em função da utilização do esterco bovino.

Também Ramos e Casanovas (2006), em estudos realizados com compostagem de esterco bovino, ressaltam os benefícios da aplicação do resíduo animal em solos degradados por mecanização e a diminuição de custos com fertilização. Como resultado de sua pesquisa relatam o aumento da infiltração e a diminuição do volume do escoamento superficial acima de 20 %. Os autores constataram que com a aplicação do composto incorporado ao solo, houve uma diminuição do total de partículas mobilizadas pelo escoamento superficial, mas alertam para o acúmulo de nitrogênio e fósforo nas camadas mais superficiais do solo, proporcionando uma concentração duas vezes maior destes nutrientes no escoamento superficial para os solos tratados com o composto.

Ao comparar dois sistemas de preparo de solo, Bundy *et al.* (2001) relataram uma maior concentração de fósforo dissolvido no escoamento superficial em plantio direto do que a aplicação do esterco incorporado em preparo convencional. As perdas de fósforo total foram menores no sistema onde não houve o revolvimento do solo. Estes autores acreditam que o aumento da infiltração no plantio direto tenha sido responsável pelas menores perdas de sedimento e de fósforo por escoamento superficial. Wiederholt *et al.* (2005) relatam o aumento de macro poros de solo em sistema de plantio direto com aplicação de esterco de curral o que permitiu uma ótima infiltração da água no solo. Mas ressalva que isso também pode levar a uma contaminação de águas subterrâneas pela lixiviação do nitrato.

É visto que a utilização de esterco animal influencia a estrutura do solo proporcionando incrementos em atributos físicos. A microporosidade também pode ter incrementos com a utilização de esterco animal. Em experimento de longa duração, utilizando esterco de curral com NPK, Hati *et al.* (2006), após 28 anos de

aplicação, constataram um significativo aumento na estabilidade dos agregados do solo (diâmetro médio 35% superior ao tratamento controle), pela ação agregante da matéria orgânica provida pelo esterco. Segundo os autores, a utilização de NPK com o esterco ocasionou uma significativa diminuição na densidade do solo ($1,28 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação ao tratamento controle ($1,34 \text{ Mg m}^{-3}$). Os autores reportam, ainda, o incremento na porosidade total com o destaque para a microporosidade (diâmetro $< 30 \mu\text{m}$) o que proporcionou aumento significativo na capacidade de retenção de água no solo.

Resultados semelhantes foram constatados por Zhang *et al.* (2007), onde em experimento com 13 anos de aplicação anual de esterco de leiteria, resultou em significativa diminuição na densidade do solo nas camadas de 0-5 e 10-15 cm passando de $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ (tratamento controle) para $1,19 \text{ g cm}^{-3}$, com a aplicação de NPK + esterco bovino. A porosidade total também foi alterada em função da aplicação do dejetos aumentando a microporosidade do solo (poros menores que $15 \mu\text{m}$), proporcionando incrementos de retenção de água no solo. Na camada de 0-5 cm houve aumento do volume de água retida da ordem de 7,6% em relação ao tratamento que não recebeu o esterco. Os autores atribuem à diminuição dos poros de condutividade (macro poros) a diminuição da condutividade hidráulica insaturada e da infiltração com a aplicação do dejetos. Eles ressaltam a importância do aumento da capacidade de retenção de água no solo sugerindo que a aplicação de esterco bovino, poderia proporcionar economia de água em cultivos irrigados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi baseado em um experimento de campo instalado na Estação Experimental da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, no município de Ponta Grossa, região dos Campos Gerais do Paraná. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, Fundação ABC, 2001), de textura franco argilo arenosa, com $730 \text{ g areia kg}^{-1}$, $231 \text{ g argila kg}^{-1}$ e $39 \text{ g silte kg}^{-1}$ na camada de 0-20 cm (MORI, 2007). O

clima da região é subtropical, com verões amenos, e do tipo Cfb (Köppen). A temperatura média anual está entre 17 e 18 °C. A pluviosidade anual varia de 1400 a 1600 mm, sem estação seca definida (IAPAR, 2000).

O experimento foi instalado em novembro de 2005, em área já manejada sob plantio direto por mais de 10 anos em sistemas de rotação envolvendo as culturas de trigo e aveia preta no inverno e soja e milho no verão. Os tratamentos constituíram de quatro doses anuais de dejetos líquido bovino (0, 60, 120 e 180 m³ ha ano⁻¹) distribuídos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas de 3,5 × 29,75 m. As doses foram parceladas em duas aplicações, sendo metade antes da semeadura da cultura de inverno e o restante antes da semeadura da cultura de verão. O dejetos provinha de uma fazenda produtora de leite da região e era aplicado manualmente com o auxílio de regadores sem crivo. O teor médio de matéria seca do dejetos era 70,6 g L⁻¹.

3.2 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Amostras de solo foram coletadas em setembro de 2007, em dois pontos por parcela, em três das quatro repetições. Em cada ponto foi aberta uma trincheira de 20 × 40 cm de dimensões laterais e 20 cm de profundidade, disposta transversalmente às linhas da cultura do trigo. Dois tipos de amostra foram coletados na parede da trincheira, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm: (i) em anel volumétrico de 5,6 cm de diâmetro e 3,1 cm de altura, introduzido verticalmente até o centro da camada; e (ii) em blocos não deformados de 10 × 10 cm de dimensões laterais, e com espessura equivalente ao da camada amostrada, coletados com o auxílio de espátulas. Tais amostras foram cuidadosamente embaladas para evitar sua desagregação durante o transporte ao laboratório. Um terceiro tipo de amostra foi coletado com trado holandês na camada de 20-40 cm.

3.3 MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE, DENSIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO

As amostras em anel volumétrico passaram por um processo de toaleta, foram saturadas com água por 12 h e submetidas a uma tensão de 6 kPa, pelo método da mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968). Após um período de 24 h, as mesmas foram retiradas da mesa de tensão e pesadas.

Após re-saturação em água, as amostras foram colocadas num permeâmetro de carga constante, ajustado para uma lâmina de água de 2 cm sobre o topo do anel, para a determinação da condutividade hidráulica saturada (EMBRAPA, 1997). Nesse caso, as avaliações foram feitas a cada hora, por um período de oito a nove horas, utilizando-se para o cálculo da condutividade hidráulica somente os valores estáveis de leitura das duas ou três últimas horas de avaliação.

A densidade do solo foi determinada após secagem das amostras a 105 °C, levando-se em consideração o volume de cada anel. A densidade do solo, junto com a densidade de partículas determinada previamente para cada amostra (EMBRAPA, 1997), foram empregadas para o cálculo da porosidade total.

Como microporosidade, considerou-se a umidade volumétrica contida na amostra após a retirada da mesa de tensão, e como macroporosidade a diferença entre porosidade total e microporosidade.

3.4 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMP_u) DE AGREGADOS

As amostras em blocos não deformados foram fragmentadas manualmente segundo os planos naturais de fraqueza dos agregados, em tamanho suficiente para passar em peneira de malha 8 mm. Após a secagem das amostras ao ar e em temperatura ambiente, 50 g de agregados foram umedecidos por capilaridade num funil de papel filtro durante 12 horas. Os agregados foram transferidos cuidadosamente para a peneira superior de um conjunto de cinco peneiras com malhas de 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, para o procedimento de peneiração úmida em aparelho do tipo Yoder, ajustado para 36 oscilações por minuto, com amplitude de 25 mm, durante 15 minutos. Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para recipientes de alumínio, secados a 50 °C e

pesados, para o posterior cálculo do diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) (KEMPER; ROSENAU, 1986; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

3.5 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA

Para a avaliação da infiltração de água a campo foram utilizados infiltrômetros de anéis concêntricos (EMBRAPA, 1978), sendo o anel externo com diâmetro de 40 cm e o interno de 20 cm. Cada anel foi introduzido no solo a 5 cm de profundidade, em dois pontos por parcela, opostos àqueles onde se abriu as trincheiras para coleta de solo. Uma lâmina de água de 5 cm foi mantida no anel interno através do suprimento automático feito por um reservatório de PVC (10 cm de diâmetro e 150 cm de altura) instalado verticalmente sobre o anel e apoiado num tripé. Esse reservatório possuía uma graduação que permitia as leituras de consumo de água ao longo do tempo. Uma lâmina de água de 5 cm também foi mantida no anel externo, porém através de reabastecimento manual de água.

O tempo total de avaliação foi de 120 minutos, com leituras aos 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos. A taxa final de infiltração foi obtida a partir da média dos valores estáveis de leitura aos 105 e 120 minutos.

3.6 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A determinação da concentração de carbono orgânico total foi realizada nas mesmas amostras de agregados obtidos a partir dos blocos não deformados (camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm) e na amostra obtida por tradagem (camada de 20-40 cm), por combustão seca em analisador Vario EL III. Uma subamostra de aproximadamente 20 g de solo foi moída em gral até passar em peneira de 0,50 mm de malha. Dessa subamostra, aproximadamente 30 mg foram utilizados efetivamente para a análise.

Para o estoque total de carbono, levou-se em consideração a densidade do solo em cada camada e o método de correção para camada equivalente utilizado por Sisti *et al.* (2004). Para a densidade do solo na camada de 20-40 cm, considerou-se a mesma da camada de 10-20 cm. Para a adição de carbono pelas

culturas, foi considerado o rendimento de grãos das mesmas (dados fornecidos pela Fundação ABC), o índice de colheita 0,50 e a concentração de carbono no tecido de 40%. Para a adição de carbono pelo esterco, foi considerada a concentração de matéria seca no dejetos ($70,25 \text{ g L}^{-1}$) e a concentração de carbono no resíduo seco (359 g Kg^{-1}) (MORI, 2008).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey ($P < 0,10$). A análise estatística foi feita separadamente para cada camada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

A aplicação anual de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos bovinos (DLB) diminuiu a densidade do solo na camada de 0-5 cm de 1,32 para $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 1), enquanto as doses de 60 e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ praticamente não alteraram a densidade nessa camada, em relação ao tratamento sem aplicação de DLB. Tendência similar foi observada na camada de 5-10 cm, embora a redução na densidade proporcionada pela aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB não tenha sido significativa (Figura 1). Na camada mais profunda (10-20 cm), mesmo a aplicação da maior dose de DLB não alterou a densidade do solo. Coerente com as variações na densidade, a macroporosidade do solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm tendeu a ser maior com a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB (Figura 2), porém se manteve praticamente inalterada com as doses de 60 e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. A redução na densidade e o aumento da macroporosidade do solo com a aplicação da maior dose de dejetos podem ser atribuídos a efeitos diretos e indiretos. O efeito direto é o condicionamento físico do solo que o dejetos em si, por ser um material orgânico particulado, proporciona (HAYNES; NAIDU, 1998; BULLUCK *et al.*, 2002; FARES *et al.*, 2008). Nesse caso, é de se esperar que esse efeito seja mais restrito à camada de 0-5 cm, pois a aplicação do dejetos foi feita na superfície e sem incorporação. Por outro lado, um efeito indireto pode resultar do maior crescimento radicular, e assim da maior abertura de canais e poros no solo, com o fornecimento de nutrientes oriundos do dejetos, podendo assim explicar a diminuição da densidade e o aumento da macroporosidade na camada mais profunda (5-10 cm). O resultado intrigante, e para o qual não se encontrou uma explicação plausível, foi o efeito praticamente nulo das doses de 60 e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ sobre a densidade e macroporosidade do solo, ficando o efeito restrito somente a dose de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Independente da forma de atuação do dejetos, vários resultados de pesquisa reconhecem a influência positiva na porosidade do solo, podendo incrementar a porosidade total do solo tanto com aumento de macro e microporos (FARES *et al.*, 2008) ou somente de microporos (ZHANG *et al.*, 2007).

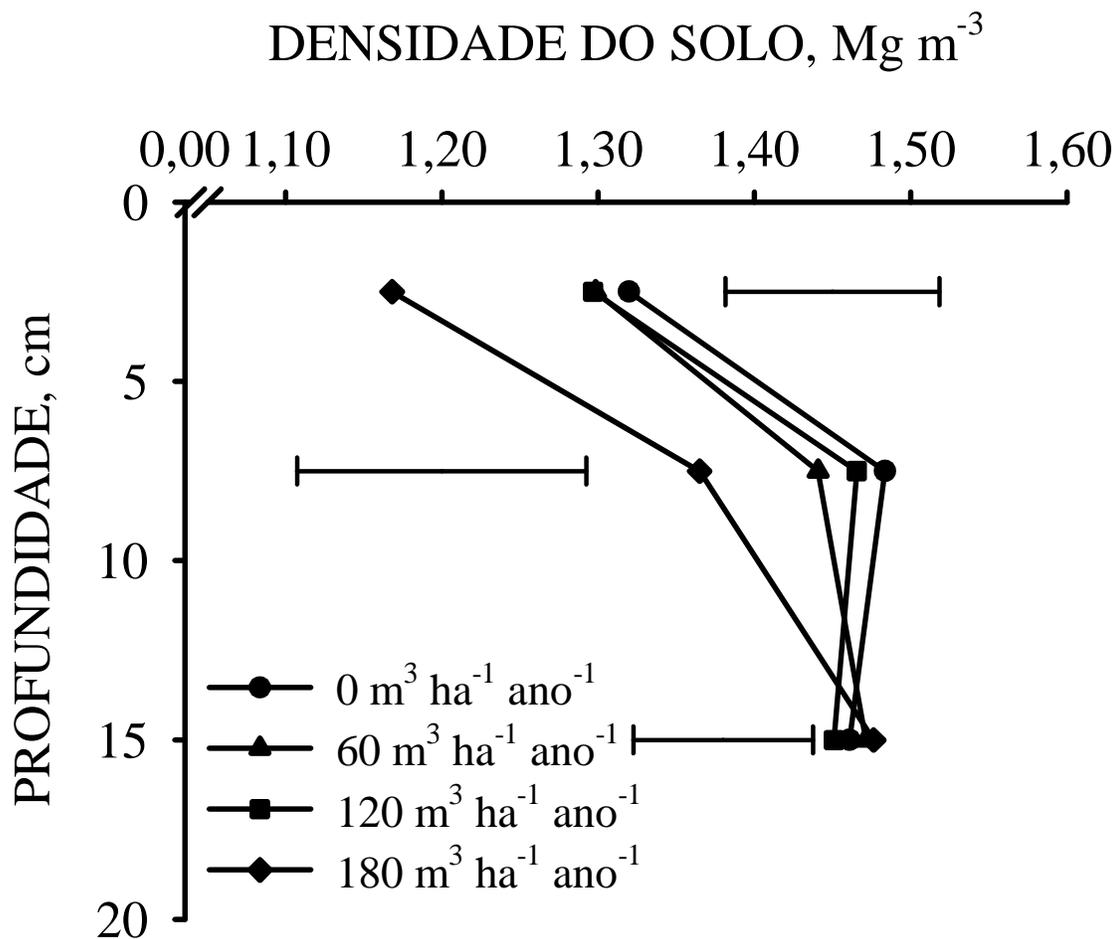


FIGURA 1 - DENSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

Em profundidade, houve uma tendência de aumento da densidade média do solo a partir da camada de 0-5 para 5-10 cm de 1,27 para 1,44 Mg m⁻³ (Figura 1); e de diminuição da macroporosidade de 0,26 para 0,21 m³ m⁻³ (Figura 2). A maior concentração de raízes e a ação mecânica mais intensa de discos ou sulcadores na camada de 0-5 cm pode, também, ser a causa da menor densidade nessa camada, enquanto as camadas inferiores estariam refletindo um eventual efeito de compactação proporcionado pelo tráfego de máquinas.

A aplicação de 180 m⁻³ ha⁻¹ de DLB tendeu a diminuir, embora não de maneira significativa, a microporosidade nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 3). Isso pode estar associado ao aumento na macroporosidade e assim a um conseqüente comprometimento de parte da microporosidade. Em função do solo da testemunha já possuir uma macroporosidade significativamente superior à mínima de 0,10 m⁻³ m⁻³ considerada como crítica para a aeração (Figura 2), dificilmente esse aumento da macroporosidade tenha proporcionado benefícios adicionais à planta no que se refere à disponibilidade de oxigênio às raízes. No entanto, pode ter sido desvantajoso por tender a diminuir a microporosidade e assim o armazenamento de água e sua disponibilidade às plantas. Em geral, a aplicação de dejetos animais por longo prazo aumenta a quantidade de microporos (< 30 µm), sem muitas vezes alterar a de macroporos, e assim a quantidade de água armazenada em condição de capacidade de campo (SCHONNING *et al.*, 1994; HAYNES; NAIDU, 1998). Embora essa tendência ainda não tenha sido observada no segundo ano do experimento, espera-se que a mesma ocorra no longo prazo.

Referente ao grau de agregação do solo, as aplicações de DLB tenderam a aumentar, embora nem sempre de maneira significativa, o DMPu. Na camada superficial, o DMPu original de 1,59 cm aumentou para 1,71 cm com a aplicação de 60 m⁻³ ha⁻¹ de DLB e para 1,94 cm com as doses de 120 e 180 m⁻³ ha⁻¹ (Figura 4). Tendência similar foi observada na camada de 5-10 cm, enquanto na mais profunda a diferença entre tratamentos não foi clara. Entre as classes de tamanho de agregados, as que apresentaram as maiores proporções da massa total do solo e que tenderam a ser as mais afetadas pela aplicação de DLB foram > 4,0, 0,5-0,25 e < 0,25 mm (Figuras 5a, 5b, 5c). Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm uma tendência de aumento da proporção de macroagregados > 4,0 mm

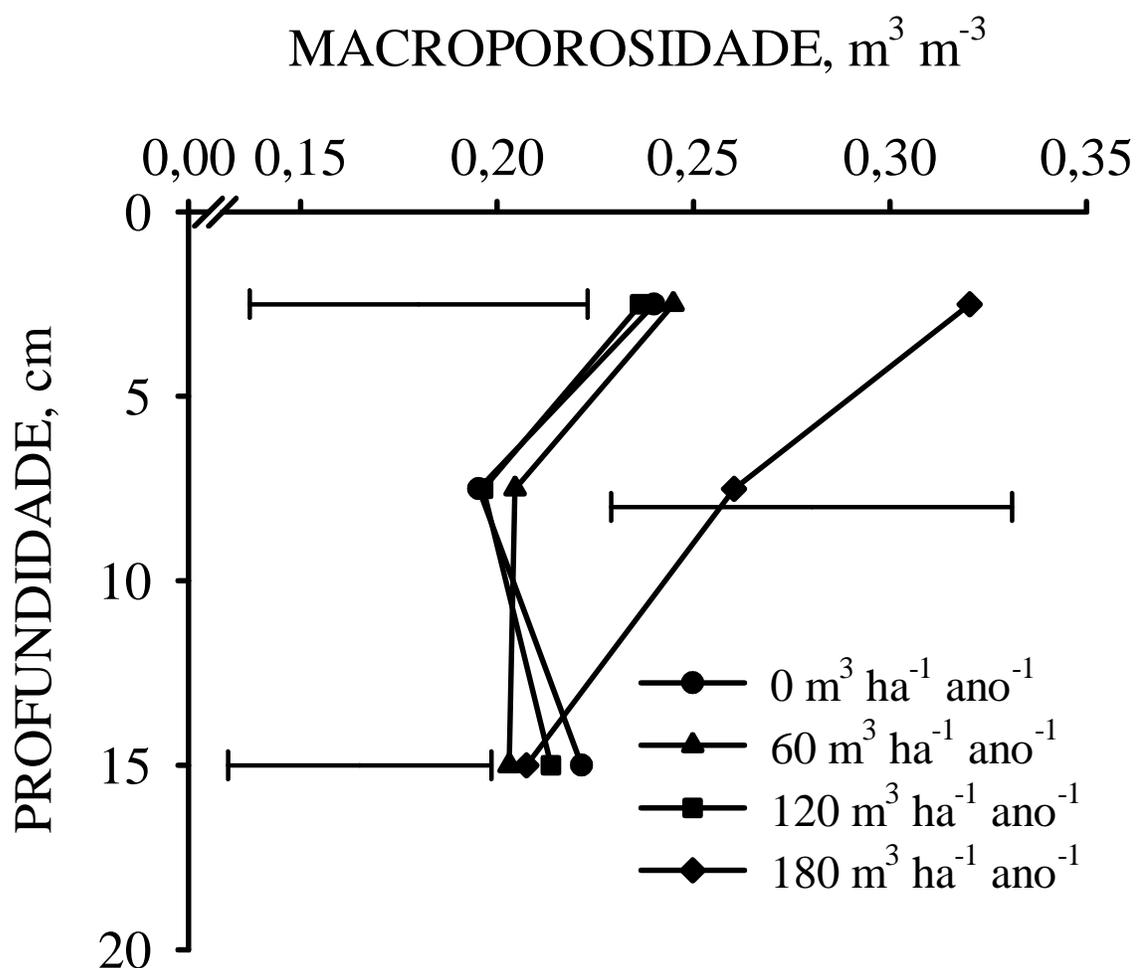


FIGURA 2 - MACROPOROSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

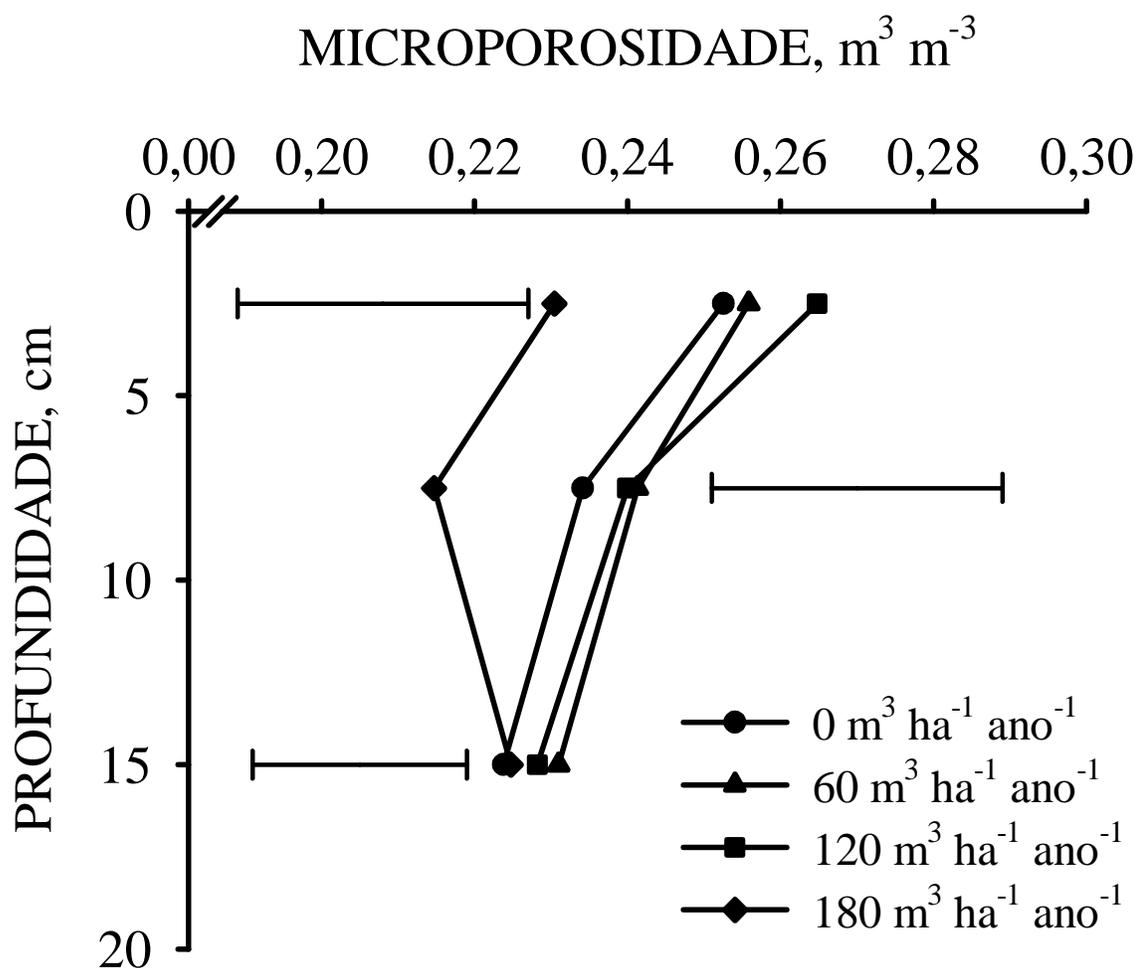


FIGURA 3 - MICROPOROSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

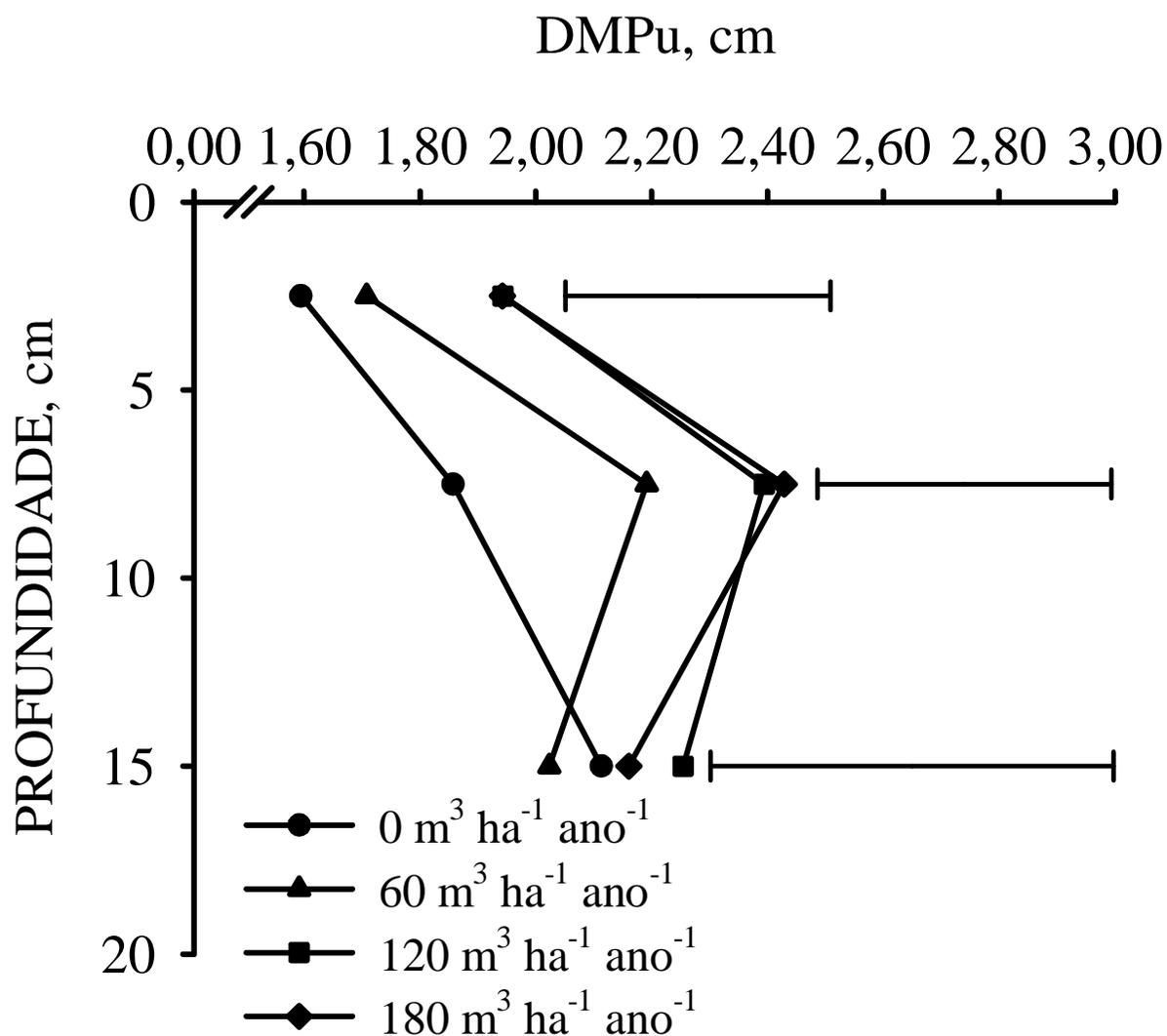


FIGURA 4 - DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPu) DE AGREGADOS DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

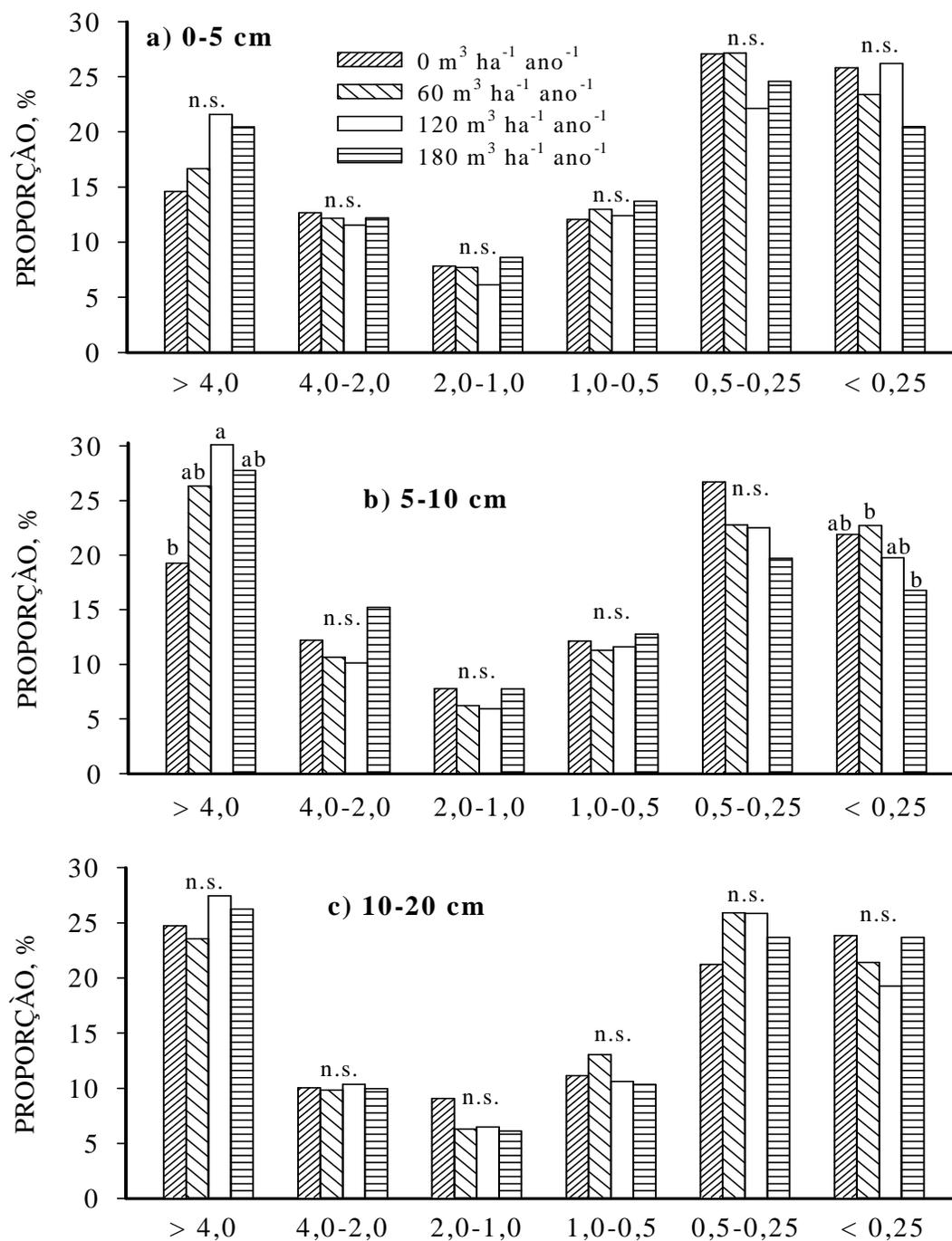


FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS EM CLASSES DE TAMANHO, NAS CAMADAS DE 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 (c) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. LETRAS ACIMA DAS BARRAS COMPARAM AS DOSES DENTRO DA MESMA CLASSE DE TAMANHO, DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

com o aumento da dose de DLB, paralela a uma tendência de diminuição na proporção de agregados das classes 0,5-0,25 e < 0,25 mm. Tais resultados evidenciam o papel direto do DLB como um agente cimentante, ou indireto do mesmo através da ação de raízes e hifas (mucilagens de polissacarídeos), em unir unidades estruturais de menor tamanho (0,5-0,25 e < 0,25 mm) em unidades maiores (> 4,0 mm), aumentando assim o DMPu (Figura 4).

Vários trabalhos relatando incrementos na quantidade e tamanho de agregados estáveis em água com a adição de dejetos orgânicos são citados na revisão de Haynes e Naidu (1998), destacando o papel desses dejetos como fonte de matéria orgânica e assim com um papel importante na formação de tais agregados. Esse efeito de dejetos sobre a agregação parece ocorrer tanto em solos manejados em preparo convencional como em plantio direto, como observado no trabalho de Mikha e Rice (2004), onde a aplicação de dejetos aumentou significativamente a proporção de macroagregados (> 2000 μm), em ambos sistemas de preparo do solo. Wortmann e Shapiro (2008) destacam o papel desses macroagregados no sentido deles protegerem fisicamente o fósforo e com isso reduzir seu potencial de perda por escoamento superficial. Por outro lado, uma diminuição na proporção e no tamanho de agregados estáveis em água ocorreu com o incremento da dose de dejetos bovino no estudo de Whalen e Chang (2002), sendo a causa desse resultado atribuída à desestabilização de macroagregados grandes promovida por agentes dispersantes, especialmente cátions monovalentes, presentes no dejetos.

4.2 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Com a aplicação de $180 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ de DLB, a condutividade hidráulica saturada aumentou em quase cinco vezes na camada de 0-5 cm e quase triplicou na camada de 5-10 cm, em relação ao tratamento sem aplicação de dejetos (Figura 6). As doses intermediárias de DLB também aumentaram a condutividade na camada superior, mas somente com a dose de $120 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ esse aumento foi significativo. Na camada de 10-20 cm, as alterações na condutividade hidráulica foram comparativamente menores. Embora a aplicação de DLB por dois anos tenha proporcionado uma

alteração positiva na condutividade hidráulica somente nas duas camadas mais superficiais, é importante considerar a possibilidade do incremento da condutividade, bem como de melhoria de outras propriedades físicas, em maiores profundidades com o aumento do tempo de aplicação do dejetos. No estudo de Bhattacharyya et al. (2007), a aplicação de esterco de curral por um período de oito anos aumentou a condutividade hidráulica até a profundidade de 45 cm.

Tais aumentos na condutividade hidráulica são na verdade resultantes do aumento da macroporosidade, pois se observou uma relação direta entre essas duas características (Figura 7). Conforme a equação linear ajustada na Figura 7, a condutividade hidráulica seria nula caso a macroporosidade fosse inferior $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, obviamente com conseqüências desastrosas em termos de aumento da taxa de escoamento superficial em eventos de chuva. Nesse caso, antes de causar problemas em termos de comprometimento da aeração, uma redução na macroporosidade já causaria problemas com o aumento do escoamento superficial. Por outro lado, no caso, de um aumento da macroporosidade não proporcionar vantagens adicionais na aeração (caso essa já seja superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, como discutido anteriormente) e promover a diminuição da microporosidade e o armazenamento de água, esse aumento da macroporosidade pode ser extremamente vantajoso sob o ponto de vista ambiental no sentido de aumentar condutividade hidráulica e reduzir o escoamento superficial.

O aumento da taxa de infiltração de água com a aplicação de DLB, principalmente com a dose de $180 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ (Figura 8), confirma os resultados de condutividade hidráulica. Vale ressaltar que originalmente o solo já possui uma alta taxa de infiltração de água (192 mm h^{-1}), pois possui textura franco argilo arenosa, mas mesmo assim incrementos de 10 mm na taxa de infiltração foram obtidos para a cada $40 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB, conforme a equação linear ajustada na Figura 8. Incrementos na taxa de infiltração de água em função de incrementos de dose de dejetos bovino também são reportados no trabalho de Fares et al. (2008), em proporções de até 185% em relação a testemunha.

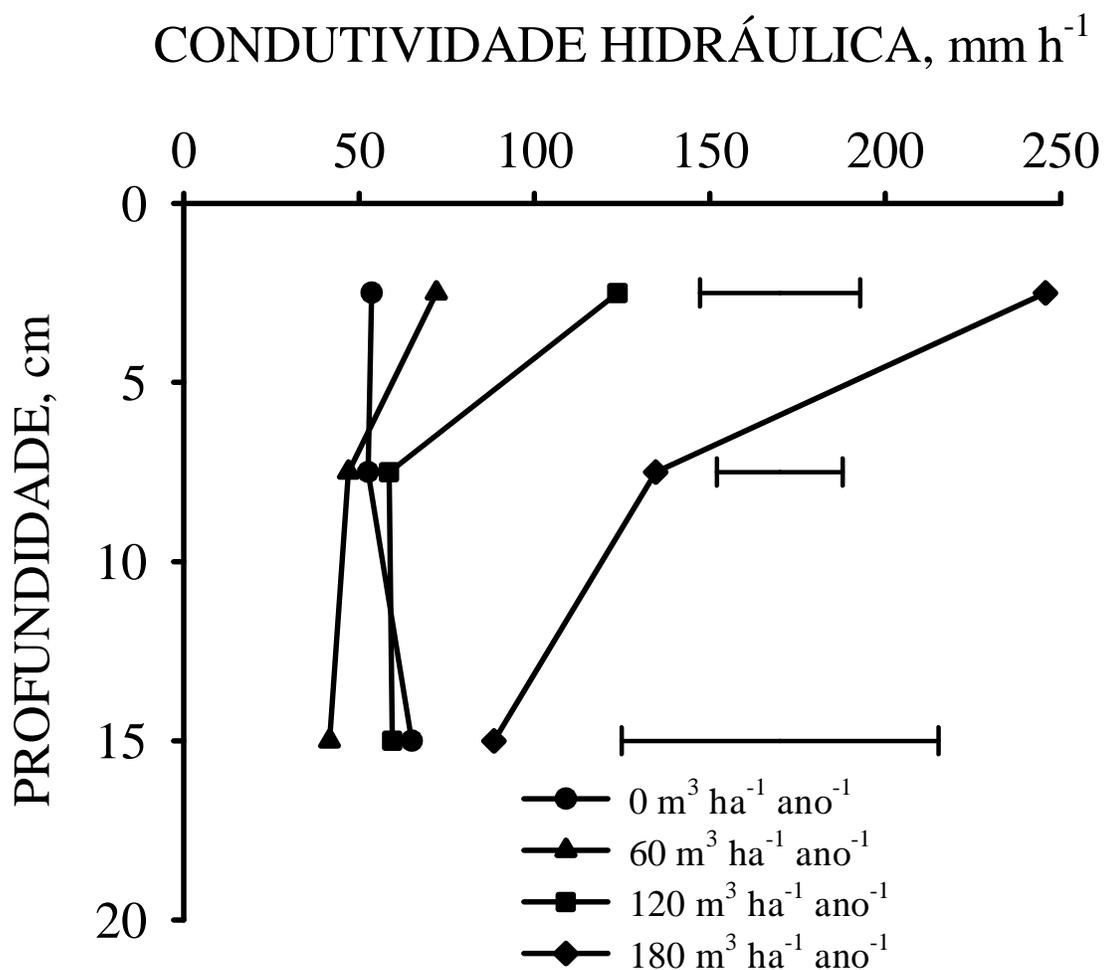


FIGURA 6 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 E 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

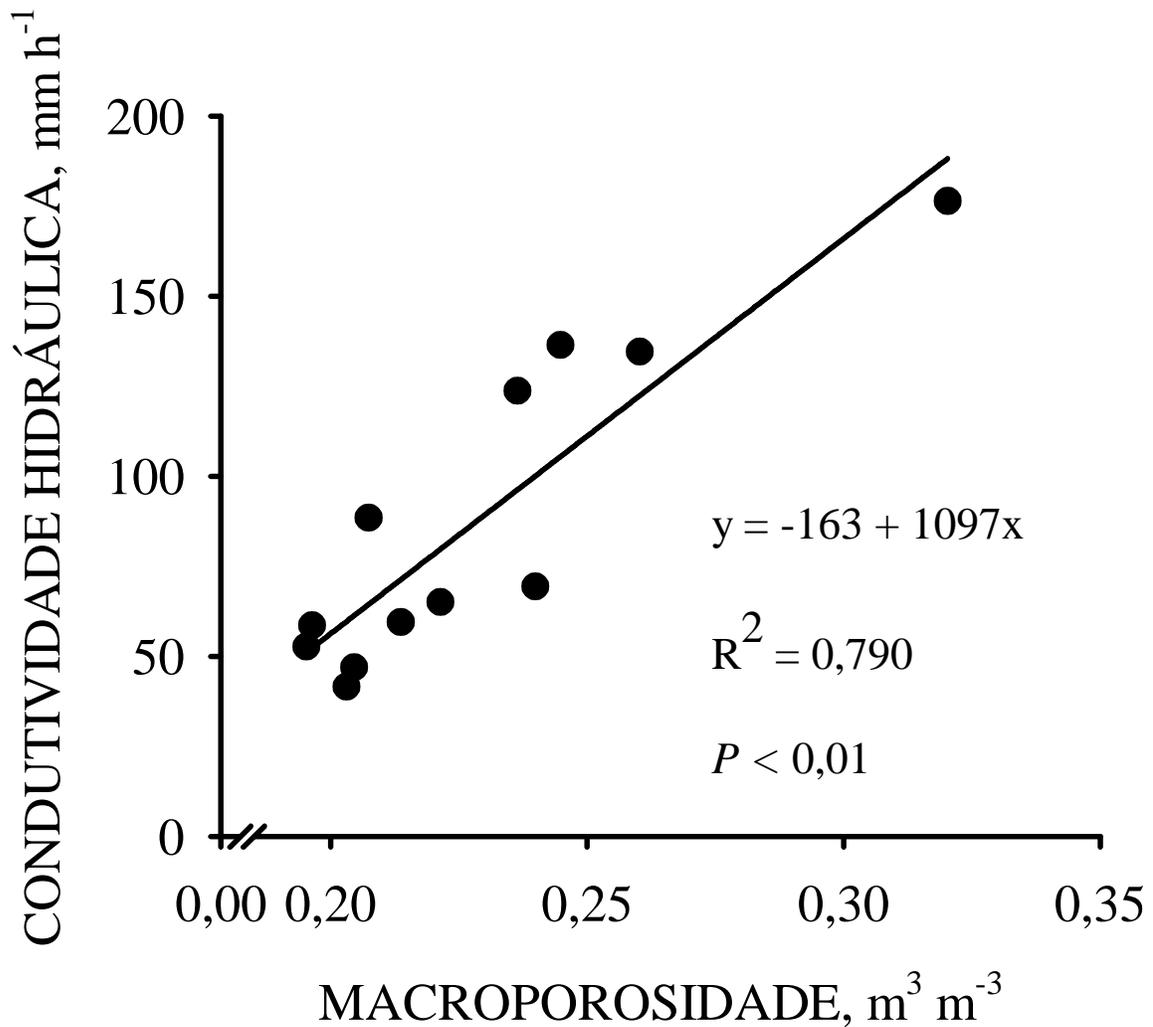


FIGURA 7 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E MACROPOROSIDADE DO SOLO, CONSIDERANDO-SE TODOS OS DADOS DAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

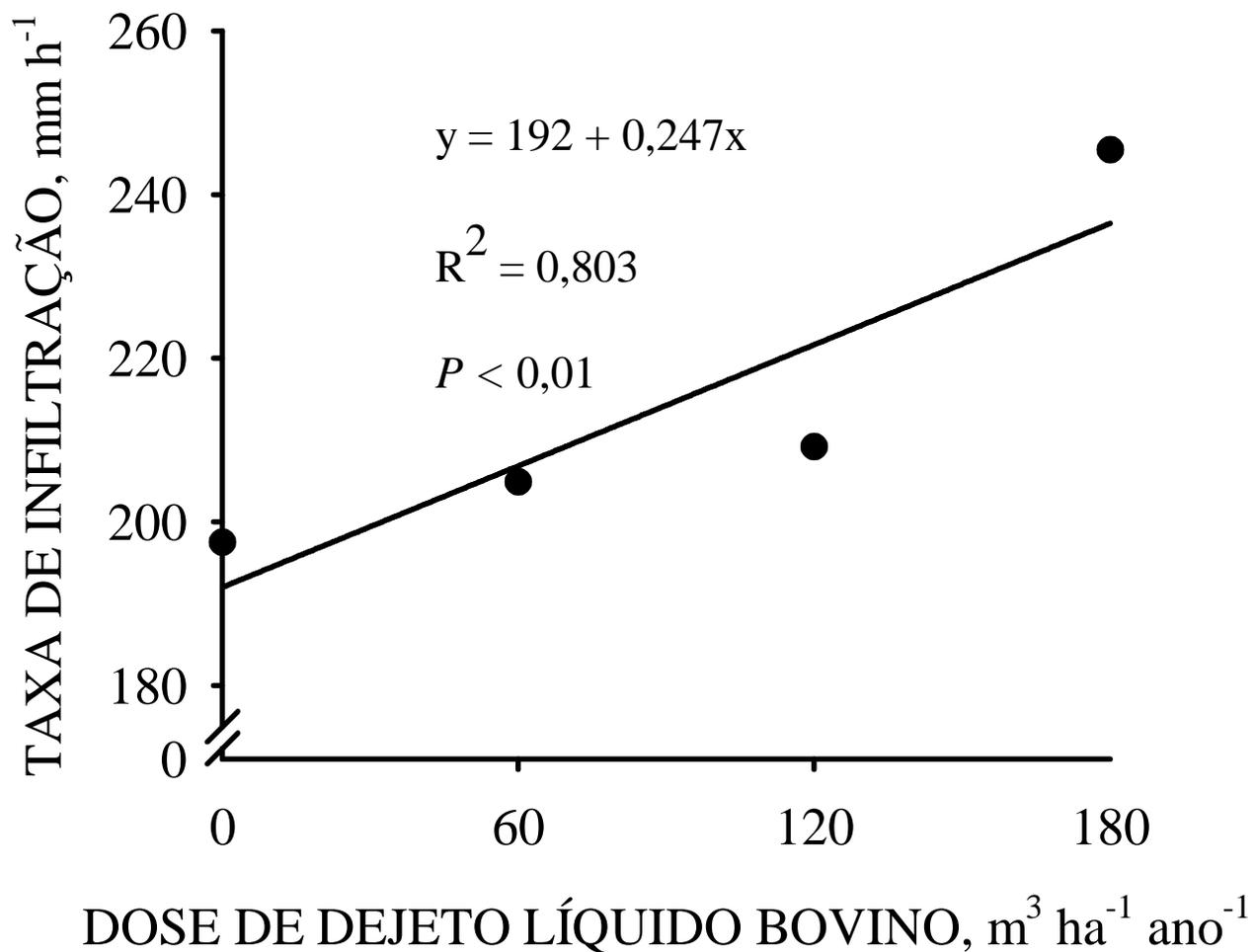


FIGURA 8 - TAXA FINAL DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO.

Com base nos resultados de condutividade hidráulica e taxa de infiltração, fica evidente a possibilidade da aplicação de DLB diminuir a taxa de escoamento superficial de água e o potencial de descarga de elementos causadores de eutrofização em corpos de água, especialmente o fósforo. Isso parece ser contraditório com a informação corrente na literatura quase sempre destacando o aspecto prejudicial da aplicação de dejetos animais no sentido de aumentar a perda de fósforo (SMITH *et al.*, 2001; ALLEN; MALLARINO, 2008). É importante, no entanto, separar dois efeitos decorrentes da aplicação de dejetos líquidos. O primeiro pode ser denominado de efeito de curto prazo, podendo estar associado com a formação de um selo constituído pelo próprio dejetos sobre a superfície do solo (BUNDY *et al.*, 2001) e o conseqüente aumento do escoamento superficial. Nesse caso, o fator crítico é o tempo que decorre entre a operação de aplicação do dejetos e a próxima chuva, sendo que a pior situação é aquela em que a chuva ocorre logo após a aplicação do dejetos (MORI, 2007). O segundo efeito pode ser denominado de longo prazo, com a possibilidade do dejetos aplicado melhorar as qualidades estruturais do solo, proporcionando maiores taxas de infiltração, menores de escoamento e conseqüentemente menores perdas de água, sedimento e fósforo (BUNDY *et al.* 2001; SMITH *et al.* 2001).

4.3. CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Embora a aplicação de DLB durante dois anos não tenha alterado significativamente a concentração de carbono orgânico do solo, houve uma tendência clara de aumento na camada de 0-5 cm (Figura 9). Na camada de 5-10 cm também houve certo efeito, com a maior dose de DLB tendendo a apresentar a maior concentração de carbono orgânico, enquanto nas camadas mais profundas de 10-20 e 20-40 cm as concentrações foram praticamente as mesmas (Figura 9). Embora não se manifestando de uma forma clara, houve uma tendência de relação direta entre a concentração de carbono na camada de 0-5 cm (Figura 9) e melhorias em propriedades físicas como diminuição da densidade (Figura 1) e aumento da macroporosidade (Figura 2), do DMPu (Figura 4) e da condutividade hidráulica (Figura 6) nessa mesma camada, cabendo destacar os melhores resultados com a aplicação da dose de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB.

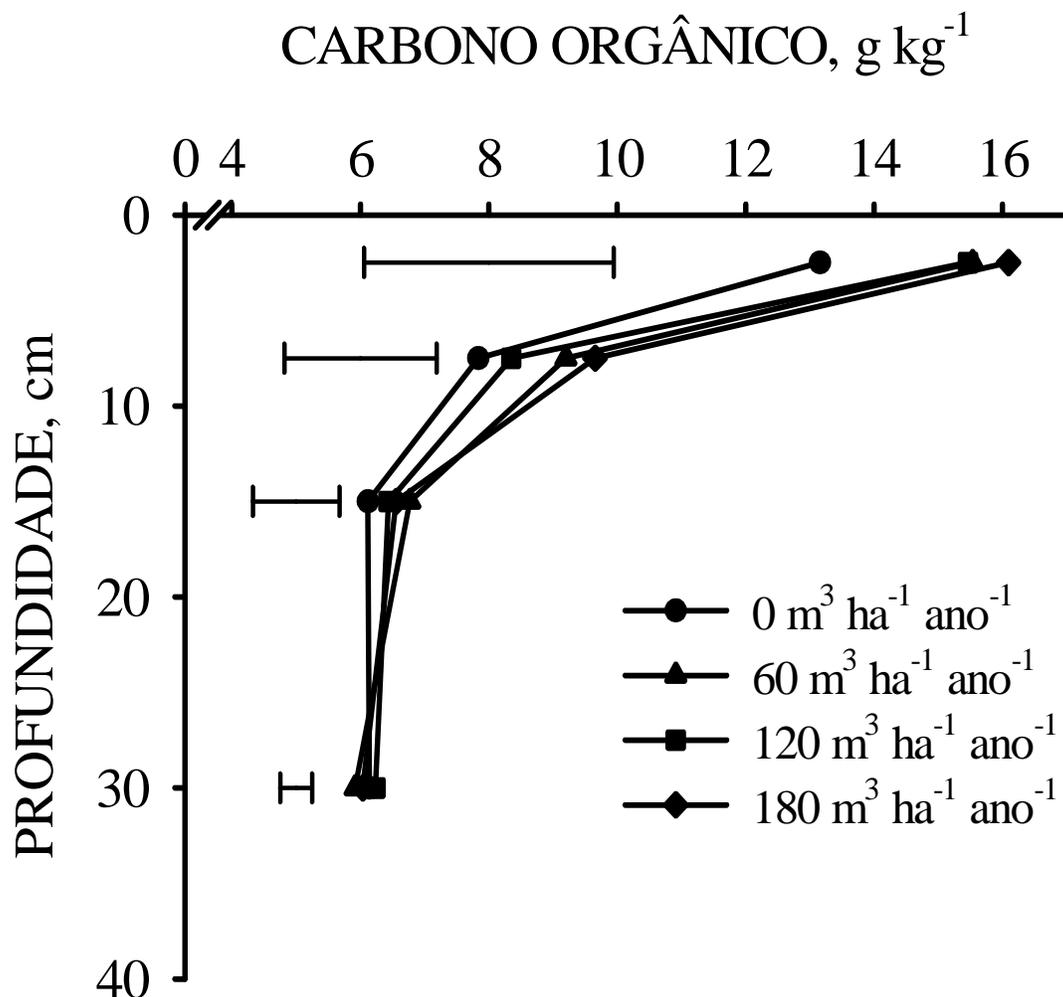


FIGURA 9 - CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NAS CAMADAS DE 0-5, 5-10 e 10-20 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. BARRAS HORIZONTAIS CORRESPONDEM À DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$).

O aumento do estoque de matéria orgânica do solo é atribuído, de acordo com Zhang *et al.* (2008), à aplicação do dejetos por longos períodos, o que influenciou na diminuição da densidade e no aumento da porosidade total. Bissonete *et al.* (2001) atribuem à aplicação anual de esterco líquido de bovinos e aos resíduos de forragem o aumento de carbono orgânico de solo. Para Whalen *et al.* (2003), o aumento de carbono no solo, pela aplicação de esterco bovino em sistema de plantio direto, foi responsável pelo aumento do diâmetro médio de agregados de solo, evidenciando a influência do esterco animal nas propriedades físicas do solo.

Os resultados de concentração se refletiram nos estoques totais de carbono, que na camada de 0-20 cm foram maiores com a aplicação $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB em relação à testemunha (Figura 10). Considerando a camada de 0-40 cm, a tendência foi a mesma (Figura 10), porém não tão clara quanto na de 0-20 cm em função das concentrações de carbono ser praticamente a mesma entre os tratamentos na camada individual de 20-40 cm (Figura 9).

A tendência de incremento no estoque de carbono é atribuída a duas causas, uma direta e outra indireta. A direta é a própria adição do dejetos, que é material orgânico e pode ser incorporado ao estoque de matéria orgânica do solo, principalmente na camada superficial de 0-5 cm. A causa indireta é o aumento na adição de carbono pelas culturas (Figura 11). Enquanto no tratamento testemunha a adição anual pela parte aérea foi de $3,36 \text{ Mg C ha}^{-1}$, nos tratamentos com aplicação de DLB essa adição foi em média de $3,72 \text{ Mg C ha}^{-1}$, ou seja, $0,36 \text{ Mg}$ superior. Embora as culturas foram as principais fontes de adição de carbono ao solo, foram as doses de dejetos que possibilitaram as maiores diferenças na adição total, pois cada $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB correspondem à adição de $0,39 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 11).

Embora as adições totais de carbono tenham proporcionado um incremento praticamente linear com o aumento da dose de DLB (Figura 11), os estoques totais de carbono no solo, tanto na camada de 0-20 cm como 0-40 cm, não apresentaram tal incremento linear (Figura 10). Isso pode estar associado a um efeito de diluição quando se considera toda a camada até 20 ou 40 cm de profundidade e também ao fato do experimento ainda estar numa fase inicial de condução (dois anos), ainda não consolidada; mas acredita-se que essa relação entre quantidade adicionada de carbono e estoque de carbono no solo, tenderá no longo prazo a se estreitar.

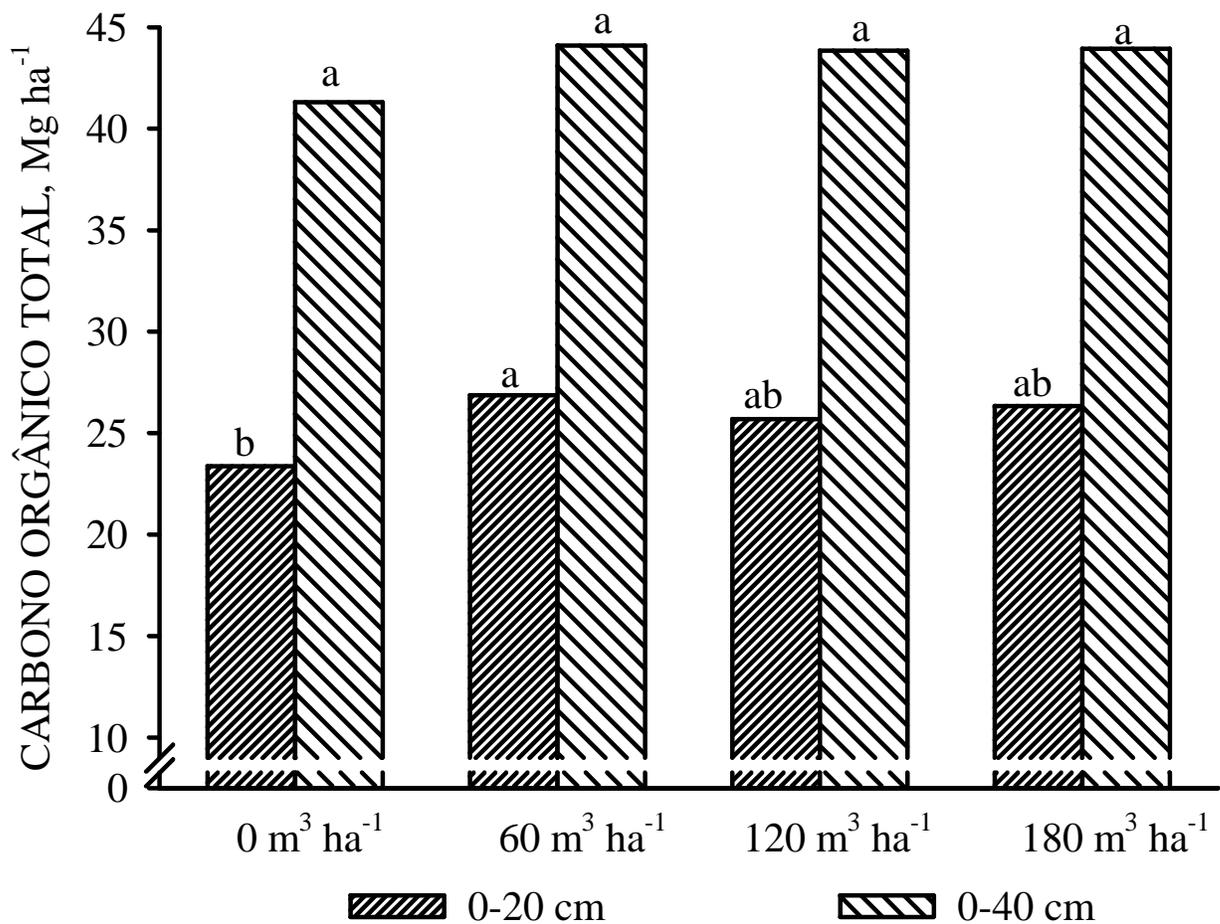


FIGURA 10 - ESTOQUE TOTAL DE CARBONO ORGÂNICO NAS CAMADAS DE 0-20 e 0-40 cm EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. LETRAS ACIMA DAS BARRAS COMPARAM AS DOSES DENTRO DA MESMA CAMADA, DE ACORDO COM TESTE DETUKEY ($P < 0,10$)

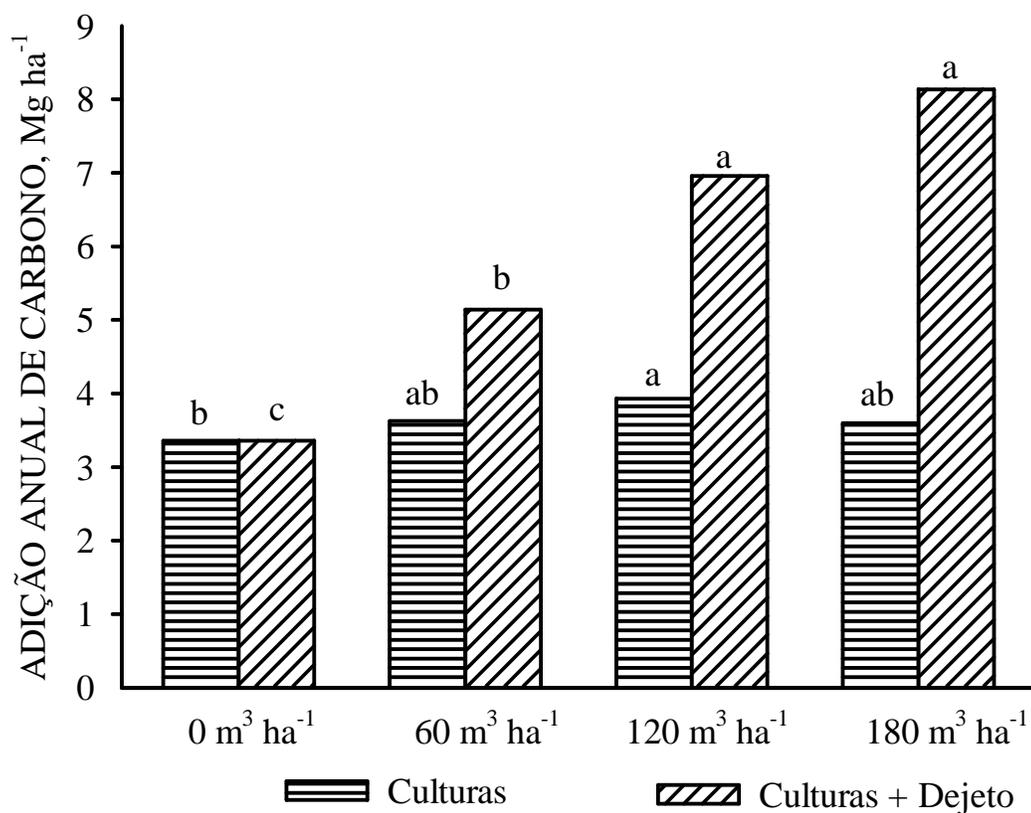


FIGURA 11 - ADIÇÃO ANUAL DE CARBONO PELAS CULTURAS E PELAS CULTURAS MAIS DEJETO LÍQUIDO BOVINO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO. LETRAS ACIMA DAS BARRAS COMPARAM AS DOSES, DE ACORDO COM TESTE DE TUKEY ($P < 0,10$)

5 CONCLUSÕES

A aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) por dois anos melhorou a qualidade estrutural do solo, através da alteração de atributos físicos como densidade do solo, macroporosidade e diâmetro médio ponderado úmido de agregados.

A aplicação de DLB por dois anos melhorou atributos hidrológicos do solo, aumentando a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água, o que possivelmente tenha consequências positivas em termos de diminuição do potencial de escoamento superficial e transporte de elementos com nitrogênio e fósforo para corpos de água, no longo prazo.

A aplicação de DLB por dois anos tendeu a aumentar o estoque de carbono no solo. A expectativa é que essa tendência se torne mais evidente no longo prazo, destacando o papel da aplicação de dejetos animais em promover o armazenamento de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

ALLEN, B. L.; MALLARINO, A. P. Effect of liquid swine manure rate, incorporation and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, p. 125-137, 2008.

ANGERS, D. A.; DAYEGAMINE, A. N. Effects of manure application on carbon, nitrogen and carbohydrates contents of a silt loam and its particle-size fractions. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 11, p. 79-82, 1991.

AOYAMA, M.; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 79, p. 295-302, 1999.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo úmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 687-694, 1999.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da material orgânica. In: SATOS, G. A. *et al.* (Ed.). **Fundamentos da material orgânica de solo**. 2. ed. rev. atual. e ampl. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

BHATTACHARYYA, R.; CHANDRA, S.; SINGH, R. D.; KUNDU, S.; SRIVASTA, A. K.; GUPTA, H. S. Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam under irrigated wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 386-396, 2007.

BISSONNETTE, N.; ANGERS, D. A.; SIMARD, R. R.; LAFOND, J. Interactive effects of management practices on water-stable aggregation and organic matter of a Humic Gleysol. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 545-551, 2001.

BERTOL, O. J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 209. f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BERTOL, O. J.; RIZZI, E. N.; BERTOL, I.; ROLLOF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento Superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. Campinas. v. 31, p. 781-792, 2007.

BULLUCK, L. R.; BROSIUS, M.; EVANYLO, J. B.; RISTAINO, J. B. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 19, p. 47-160, 2002.

BUNDY, L. B.; ANDRASKI, T. W.; POWEL, J. M; Management practices effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 1822-1828, 2001.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, p. 41-64, 2002.

EASH, N. S.; KARLEN, D. L.; PARKN, T. B. Fungal contribution to soil aggregation and soil quality. In: DORAN, J. W. *et al.* (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA-SSA, 1994. p. 221-228.

EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen – based manure and compost application. **Agronomy Journal**. Madison, v. 94, p. 128-135, 2002.

EMBRAPA - Fundação ABC. **Mapa do levantamento semi-detalhado de solos: Município de Castro**. Elaborado por: FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; BOGNOLA, I. A.; POTER, R. O., 2001.

EVANYLO, G. **Agricultural management practices and soil quality: measuring, assessing and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes**. Virginia: Virginia State Yniversity, 2000.(Cooperative Extension. N. 452-400). p. 1-12.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e

físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FARES, A.; ABBAS, F.; AHMAD, A.; DEENIK, J. L.; SAFEEQ, M. Response of selected soil physical and hydrologic properties to manure amendment rates, levels, and types. **Soil Science**, Philadelphia, v. 173, p. 522-533, 2008.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A. *et al.* (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica de solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 19-26.

HAINES, J. R.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrech, v. 5, p. 1123-137, 1998.

HATI, K. M.; SWARUP, A.; DWIVEDI, A. K.; MISRA, S. K.; BANDYOPADHYAY, K. K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 119, p. 127-134, 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do estado do Paraná**. 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas/Cartas_Climáticas.htm>. Acesso em: outubro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção pecuária municipal**, Rio de Janeiro, v. 33, p. 1-38, 2005.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 425-442.

KHALEEL, R.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in soil physical properties due organic waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, p. 133-141, 1981.

LARSON, W.E.; PIRCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORANL J.W. et a. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 37-51.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, New York, v. 2, p. 133-171, 1985.

MIKHA, M. M.; RICE, C. W. Tillage and manure effects on soil and aggregated carbon and nitrogen. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, p. 809-816, 2004.

MILLER, J. J.; SWEETLAND, N. J.; CHANG, C. Hydrological properties of a clay loam soil after long-term cattle manure application. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 989-996, 2002.

MORI, H. F. **Perdas de solo, água e nutrientes em sistema de plantio direto sob aplicação de dejetos líquido de bovinos e chuva simulada**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200, 1968.

PIRES, F.R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. (Ed). 2. ed. Ver. e ampl. Viçosa, 2006. p. 15-39.

QUEIROZ, F.M.; MATTOS, A. F.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1487-1492, 2004.

RAMOS, M. C.; CASANOVAS, J. A. M. Erosion rates and nutrient losses affected by composted cattle manure application in vineyard soils of NE Spain. **Catena**, Amsterdam, v.68, n.2-3, p. 177-185, 2006.

RANDALL, G. W.; IRAGAVARAPU, T. K.; SCHITT, M. A. Nutrient losses in subsurface drainage water from dairy manure and urea applied for corn. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p.1244-1252, 2000.

RISSE, L. M.; CABRERA, M.L.; FRANZUEBBERS, A. J.; GASKIN, J. W.; GILLEY, J. E.; RADCLIFFE, D. E; TOLLNER, E. W.; ZHANG, H. **Land application of manure for beneficial reuse. 2001.** Disponível em:<http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/whitepapersummaries/landapplication.pdf>. Acesso em : 02/11/2008.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 123-131, 2007.

SCHJONNING, P.; MUNKHOLM, L. J.; MOLDRUP, P.; JACOBSEN, O. H. Modeling soil pore characteristics from measurements of air exchange: the long term effects of fertilization and crop rotation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, p. 331-339, 2002.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T. *et al.* (Ed.). **Erosão e conservação dos solos, conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 101-124.

SILVA, H. A. **Análise de viabilidade da produção de leite a pasto e com suplementos em áreas de integração lavoura-pecuparia na região dos campos gerais-paraná**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SISTI, C. P.J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMITH, K. A.; JACKSON, D. R.; WITHERS, P. J. A. Nutrient losses by surface runoff following the application of organica manures to arable land. 2. phosphorus. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 112, p. 53-60, 2001.

SOMMERFELDT, T. G.; CHANG, C. Changes in soil properties under annual application of feedlot manure and differences tillage practices. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, p. 983-987, 1985.

STEVENSON, F. J. **Húmus chemistry**: genesis, composition, reaction. 2. ed. New York: J. Wiley, 1994.

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

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20. n. 2, p. 333-399, 1996.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentado a escassez. São Carlos: Rima, 2003.

VITKO, T. G. **Expected quality of dairy wastewater based on the characterization of a dairy farm in Chino, California**. Oakland: CWEA, 1999. (Technical Articles).

WHALEN, J. K.; CHANG, C. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 66, p. 1637-1647, 2002.

WHALEN, J. K.; HU, Q.; LIU, A. Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 67, p. 1842-1847, 2002.

WIEDERHOLT, R.; FRANZEN, D.; JOHNSON, B. **Livestock manure utilization in no-till cropping systems**. Fargo: NDSU, 2005. (NM – 1292).

WORTMANN, C. S.; Shapiro, C. A. The effects of manure application on soil aggregation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 80, p. 173-180, 2008.

ZANG, S.; YANG, X.; WISS, M.; GRIP, H.; LOVDAHL, L. Changes in physical properties of a loess soil in china following two long-term fertilization regimes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, n. 3-4, p. 579-587, 2007.