

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO-MECÂNICOS DE
UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÕES
DE DEJETO SUÍNO EM PASTAGEM PERENE**

SANDRA APARECIDA ANTONINI AGNE

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutora em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, Maio de 2013

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO-MECÂNICOS DE
UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÕES
DE DEJETO SUÍNO EM PASTAGEM PERENE**

SANDRA APARECIDA ANTONINI AGNE

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutora em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, Maio de 2013

CIP – Catalogação na Publicação

A271a Agne, Sandra Aparecida Antonini
Atributos físico-hídrico-mecânicos de um latossolo
vermelho após aplicações de dejetos suíno em pastagem
perene / Sandra Aparecida Antonini Agne. – 2013.
122 f. : il., color. ; 25 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de
Passo Fundo, 2013.

1. Adubos e fertilizantes orgânicos. 2. Adubação
verde. 3. Latossolos. 4. Solos – Manejo. I. Klein, Vilson
Antonio, orientador. II. Título.

CDU: 631.86

Catalogação: Bibliotecária schirlei T. da Silva Vaz - CRB 10/1364

Dedico

***Aos meus pais, Zánir e Lúcia
exemplos de persistência, amor e dedicação.
Ao meu esposo Afonso e minhas filhas Tuanna e Isadora,
fontes de inspiração.***

***Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;
não fosse por elas,
eu não teria saído do lugar.
As facilidades nos impedem de caminhar.***

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força, tranquilidade e pela proteção nas inúmeras viagens até Passo Fundo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vilson Antonio Klein, por ter aceitado ser meu orientador, mesmo sabendo que meus conhecimentos em agronomia eram limitados. Por compartilhar comigo, sua experiência e conhecimento e pelo apoio nos momentos difíceis.

À Universidade de Passo Fundo e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do Doutorado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos momentos agradáveis que passamos juntos, compartilhando conhecimentos e experiências.

Aos funcionários da Secretaria da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, em especial a Mari, sempre disposta e atenciosa.

Ao Pesquisador da Epagri/Cepaf Mario Miranda, obrigada pela oportunidade de realização deste estudo tão importante para nossa região e por sua disponibilidade em todos os momentos necessários.

Ao IFSC pelo apoio e oportunidade para realização deste trabalho.

Aos colegas do laboratório do LAFAS, pelo apoio e dedicação.

À minha amiga Claudia Klein (Cau) por me acolher em Passo Fundo, jamais esquecerei tanto empenho e carinho. Meu eterno obrigado.

À amiga minha Valdirene pelas nossas conversas que tornavam pequena à distância entre Chapecó/Passo Fundo.

Às minhas amigas Greice, Daniela, Daiane, Ana, obrigado pelo companheirismo, carinho e incentivo nos momentos difíceis.

Aos amigos que fiz em Passo Fundo, juntos compartilhamos momentos maravilhosos.

Aos meus colegas do IFSC que me compreenderam em momentos muito difíceis. Meu eterno obrigado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Edital MCT/CNPq-Agro nº 43/2008, pelos recursos financeiros disponibilizados para execução desta pesquisa.

A Fapergs pela concessão do auxílio financeiro, Edital Procoredes VIII, projeto 11/3391-5, o que em muito contribuiu para que esta tese se tornasse realidade.

Enfim a todos que ajudaram nesta caminhada, meu “MUITO OBRIGADA”!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE SIGLAS.....	xvii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 A suinocultura brasileira e a produção de dejetos.....	8
2.2 Adubação de pastagens com dejetos suínos.....	11
2.3 Matéria orgânica do solo.....	13
2.4 Propriedades físicas do solo e a aplicação de dejetos suínos.....	16
2.4.1 Argila dispersa em água e o índice de floculação.....	17
2.4.2 Densidade do solo.....	19
2.4.3 Densidade relativa.....	20
2.4.4 Resistência mecânica do solo à penetração.....	21
2.4.5 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros.....	23
2.4.6 Água no solo	26
2.4.7 Permeabilidade do solo ao ar	27
2.4.8 Agregados do solo estáveis em água	28
2.4.9 Consistência do solo.....	32

	2.4.10 Umidade ótima de compactação	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
	3.1 Local, clima e solo.....	34
	3.2 Histórico da área	36
	3.3 Delineamento experimental e arranjo dos tratamentos	37
	3.4 Coleta das amostras.....	39
	3.5 Matéria orgânica do solo.....	40
	3.6 Análises físico-hídrico-mecânicas do solo.....	41
	3.6.1 Textura do solo.....	41
	3.6.2 Argila dispersa em água e índice de floculação.....	41
	3.6.3 Densidade do solo e densidade dos sólidos do solo.....	42
	3.6.4 Densidade máxima do solo.....	43
	3.6.5 Densidade relativa.....	43
	3.6.6 Resistência mecânica à penetração do solo.....	44
	3.6.7 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros ..	45
	3.6.8 Permeabilidade do solo ao ar.....	46
	3.6.9 Agregados do solo estáveis em água.....	47
	3.6.10 Consistência do solo.....	49
	3.7 Análise estatística.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
	4.1 Composição granulométrica do solo.....	52
	4.2 Matéria orgânica do solo.....	55
	4.3 Argila dispersa em água e índice de floculação....	59

4.4 Densidade do solo e densidade dos sólidos do solo..	63
4.5 Densidade máxima do solo.....	65
4.6 Densidade relativa.....	66
4.7 Resistência mecânica à penetração.....	68
4.8 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros	71
4.9 Permeabilidade do solo ao ar.....	79
4.10 Agregados do solo estáveis em água	82
4.11 Consistência do solo.....	87
4.12 Umidade ótima de compactação.....	90
4.13 Análise conjunta de atributos físicos relacionados a umidade do solo	91
5 CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Doses utilizadas no experimento fracionadas em quatro aplicações	38
2 Teor de argila de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	53
3 Teor de areia de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	54
4 Teor de silte de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	55
5 Teor de matéria orgânica (Rotina) de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	55
6 Teor de matéria orgânica (MOxDs) de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	56
7 Argila dispersa em água de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	59
8 Índice de floculação de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	61
9 Densidade do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	63
10 Densidade dos sólidos do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de	

	aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	65
11	Densidade máxima do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	66
12	Densidade relativa de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	67
13	Resistência a penetração de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	68
14	Umidade volumétrica das amostras de solo na tensão de 300 kPa condição na qual foi determinada a RP de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	69
15	Umidade volumétrica na condição de capacidade de campo (6 kPa) de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	70
16	Porosidade do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	71
17	Volume de macroporos de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	74
18	Volume de microporos de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	75
19	Lâmina de água disponível em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	77
20	Volume de criptoporos em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação	

	de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	79
21	Permeabilidade do solo ao ar em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	80
22	Poros livres de água (PLA) na tensão de água em que foi determinada a permeabilidade do solo ao ar. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012	81
23	Diâmetro médio geométrico (DMG) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	83
24	Diâmetro médio ponderado (DMP) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	84
25	Índice da estabilidade dos agregados (IEA) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	86
26	Umidade no solo no limite plástico em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	88
27	Umidade do solo no limite líquido em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	89
28	Índice de plasticidade em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	89
29	Umidade ótima de compactação (UOC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	90
30	Relação entre o limite plástico (LP) e a umidade na capacidade de campo (CC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de	

	aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012	92
31	Relação entre a umidade ótima de compactação (UOC) e o limite plástico (LP) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	93
32	Relação entre o limite líquido (LL) e a umidade na capacidade de campo (CC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012	94

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Área de estudo. Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012..... 34
2	Declividade da área experimental com a disposição dos blocos Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012..... 35
3	Croqui da área experimental e as doses de DLS. Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012..... 38
4	Coleta de amostra de solo com estrutura preservada (A), coleta de amostra de solo com estrutura não preservada (B). Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012..... 40
5	Esquema do penetrômetro eletrônico utilizado para a determinação da resistência do solo à penetração (KLEIN, 1998)..... 45
6	Dispositivo utilizado na determinação da permeabilidade a ar. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012..... 47
7	(A) Dispositivo utilizado para agitação das peneiras. (B) Peneiras utilizadas para determinação da estabilidade dos agregados. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012..... 49
8	Cilindros moldados manualmente para determinar o limite plástico. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012..... 50
9	Aparelho de Casagrande, utilizado para determinar o limite de líquido. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012..... 50
10	Influência da matéria orgânica no índice de floculação 62
11	Porosidade total em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno 73
12	Lâmina de água disponível em função do teor de argila em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno... 78
13	Permeabilidade do solo ao ar em função dos poros livres de água na tensão de 300 kPa em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno 82
14	Diâmetro médio geométrico em função do teor de matéria orgânica do solo em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno..... 84
15	Diâmetro médio ponderado em função do teor de matéria

	orgânica do solo em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	85
16	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($0 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno	95
17	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($48 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	95
18	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($96 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno	96
19	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($144 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	96
20	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($192 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	97
21	Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($240 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.....	97

LISTA DE SIGLAS

ADA	Argila dispersa em água
CC	Capacidade de campo
DLS	Dejeto líquido suíno
DMG	Diâmetro médio geométrico
DMP	Diâmetro médio ponderado
DR	Densidade relativa
Ds	Densidade do solo
Dsmax	Densidade máxima do solo
DSS	Densidade dos sólidos do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Epagri/Cepaf	Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina/Centro de pesquisa para a agricultura familiar
FAMV/UPF	Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/Universidade de Passo Fundo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Índice da estabilidade dos agregados
IEE	Índice de estabilidade estrutural
IF	Índice de floculação
IP	Índice de plasticidade
K _a	Permeabilidade do solo ao ar
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
MO	Matéria orgânica
PLA	Poros livres de água
PMP	Ponto de murcha permanente
RP	Resistência mecânica do solo à penetração
UOC	Umidade ótima de compactação

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO-MECÂNICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÕES DE DEJETO SUÍNO EM PASTAGEM PERENE

SANDRA APARECIDA ANTONINI AGNE¹

RESUMO - A atividade suinícola contribui para o incremento da renda de produtores rurais da região Oeste Catarinense, onde a criação de suínos em confinamento aumentou significativamente nas últimas décadas, trazendo como consequência a geração de grandes quantidades de dejetos. A principal forma de utilização dos dejetos líquidos suínos (DLS) é como fertilizante, em áreas cultivadas com lavouras e pastagens. Os atributos físicos do solo são utilizados como indicativos de modificações estruturais no solo, que podem ser ocasionadas pela adição continuada de DLS. Este trabalho teve como objetivo verificar a influência da aplicação de doses 48, 96, 144, 192 e 240 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, na forma de DLS; e de uma testemunha, em um Latossolo Vermelho distroférico, durante quatro anos sob pastagem perene. O teor médio de matéria seca (MS) dos DLS foi de 1,72%. O experimento foi instalado em 2007, no centro de pesquisas da Epagri/Cepaf, em Chapecó, SC. A área em estudo recebeu quatro doses anuais de dejetos. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completamente casualizados, com cinco repetições e área das parcelas de 30 m². Amostras de solo com

Bióloga Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

estrutura preservada e não preservada foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 cm. Avaliou-se o teor de matéria orgânica, a textura, a argila dispersa em água, a densidade do solo e dos sólidos, a densidade máxima do solo, a densidade relativa, a resistência mecânica à penetração, a porosidade total e o volume de macro, micro e criptoporos, a permeabilidade do solo ao ar, a estabilidade dos agregados do solo, e a consistência do solo. Concluiu-se que a aplicação de doses DLS com teor médio de matéria seca de 1,72%, por um período de quatro anos num Latossolo Vermelho distroférico, não provoca alterações nas propriedades físicas do solo.

Palavras-chave: Adubação orgânica, resíduo orgânico, alterações no solo

PHYSICAL-HYDRIC-MECHANICAL ATTRIBUTES OF RED LATOSOL SOIL AFTER SWINE WASTE APPLICATION IN PERENNIAL PASTURES

ABSTRACT - Swine farming is responsible for raising the income of the producers from the West of Santa Catarina State in Brazil, where intensive swine farming has increased significantly in the last decades generating a great amount of manure. Environmental Inspection Agencies have pointed intensive piggery as responsible for air, water and soil contamination. The main use of pig slurry is as fertilizer in crops and pastures. The physical attributes are used as indicators of soil structural changes triggered by continuous addition of pig slurry. The present study aimed at verifying the influence of five pig slurry rates of 48, 96, 144, 192 and 240 m³ ha⁻¹ year⁻¹ application and a control of a dystroferric Red Latosol in a four-year time span in a perennial pasture. The average content of dry matter in pig slurry was 1.72%. The experiment started in 2007 at Epagri/Cepaf research center in Chapecó, a city in the West of Santa Catarina State in Brazil. The studied sample area received four annual waste application. The research had a completely randomized design with five repetitions and plot areas of 30 m². Soil samples with both preserved and unpreserved structures were collected in the layers 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 cm. Organic matter content, texture, water dispersible clay, soil and solid density, maximum bulk density, relative density, mechanical resistance to penetration, total porosity and macro, micro and criptopores volume, soil permeability to air, soil

aggregates stability and soil consistency were evaluated. The conclusion was that the pig slurry application till $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ with 1.72% of dry matter content in a four-year span on a dystroferric Red Latosol does not change the physical properties of the soil.

Key-words: Organic fertilizer, organic waste, changes in the soil.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura no Brasil, e principalmente na região oeste de Santa Catarina, é uma atividade de grande importância econômica, gerando milhares de empregos diretos e indiretos contribuindo com a fixação do homem no campo. Com o avanço tecnológico na produção de suínos houve interesse em confinar os animais em todas as fases do ciclo produtivo. No censo agropecuário (IBGE, 2011), o Brasil apresentou um rebanho de 39,3 milhões de cabeças de suínos e destes 48,6% está na região Sul do país. A concentração destes animais trouxe um desafio quanto ao destino correto aos dejetos produzidos evitando a contaminação do solo e da água. Atualmente a principal forma de utilização é adição ao solo como fertilizante de culturas e pastagens visando complementar ou substituir os fertilizantes minerais recomendados nos programas de adubação.

As discussões levantadas em torno da aplicação de dejetos líquidos suínos como fertilizante em lavouras e pastagens têm mobilizado órgãos ambientais e pesquisadores da área, independentemente do sistema de criação adotado, por ser considerada uma atividade de grande potencial poluidor, face ao elevado número de contaminantes gerados pelos seus efluentes, cuja ação individual ou combinada pode representar uma importante fonte de degradação do ar, recursos hídricos e do solo.

Uma das maiores preocupações é quanto a dose a ser utilizada, para que esta não seja superior à capacidade de retenção do solo ou a exigência das culturas, em razão disso, estima-se que o uso

prolongado e/ou excessivo pode resultar em desequilíbrios na estrutura física do solo.

Avaliar os atributos físicos do solo relacionados à aplicação sucessiva de dejetos suínos reduz o grau de subjetividade no que se refere à interpretação da qualidade física e estrutural do solo para o crescimento das plantas. Apesar da literatura nacional e internacional apresentar trabalhos relacionados aos efeitos do dejetos no solo e também ao ambiente, como os desenvolvidos por Adeli et al. (2005), Berwanger et al. (2008), Ceretta et al. (2003) e Sharpley et al. (2004), torna-se fundamental a obtenção de informações em relação aos efeitos do dejetos nos atributos físicos do solo em trabalhos de longa duração, uma vez que os efeitos, em sua maioria são cumulativos no solo.

Desta forma, este trabalho justifica-se em face de abundante disponibilidade de dejetos suíno na região oeste catarinense e a escassez de informações científicas relacionadas à utilização de dejetos suínos como fertilizante para pastagem perene, bem como possíveis alterações, positivas ou negativas, nos atributos físico-hídrico-mecânicos do solo a longo prazo.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência de aplicações sucessivas de dejetos suínos nos atributos físico-hídrico-mecânicos do solo cultivadas com pastagem perene.

A luz do conhecimento, de que toda ação antrópica altera o ambiente, as hipóteses que se formulam é de que os dejetos suínos apresentam grande potencial para recuperação física do solo, fornecendo matéria orgânica que, em longo prazo, desempenha papel fundamental na estruturação e agregação do solo, por outro lado, a

utilização sucessiva de dejetos suíno como fertilizante pode afetar a porosidade do solo e provocar a dispersão da argila, alterando a dinâmica da água no solo.

Para verificar a hipótese os objetivos específicos foram: avaliar os atributos físico-hídrico-mecânicos de um Latossolo submetido ao uso de pastagem, sob diferentes níveis de adubação com dejetos suíno; avaliar o efeito das diferentes doses de dejetos suínos aplicados em pastagem perene sobre os parâmetros físico-hídrico-mecânicos; avaliar o efeito da aplicação sucessiva de dejetos suíno sobre os parâmetros físico-hídrico-mecânicos (textura, argila dispersa em água, densidade do solo, densidade dos sólidos, densidade máxima e densidade relativa); relacionar o efeito dos tratamentos em relação à porosidade total, volume de macroporos, microporos e criptoporos, permeabilidade ao ar, agregados do solo e consistência do solo; avaliar o efeito dos tratamentos sobre a resistência mecânica do solo à penetração, armazenagem de água e água disponível às plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A suinocultura brasileira e a produção de dejetos

A suinocultura brasileira exhibe indicadores de produtividade de primeiro mundo, sendo o Brasil, considerado um país promissor no crescimento da produção, devido principalmente a disponibilidade de recursos hídricos. Por outro lado, o volume de dejetos produzidos e o manejo inadequado, transformou a suinocultura em uma atividade altamente poluidora do solo, ar, água superficiais e subterrâneas. Diante disso, os diversos setores da sociedade, direta ou indiretamente envolvidos na cadeia produtiva da carne suína, têm buscado alternativas para minimizar o alto potencial poluidor da atividade (KUNZ et al. 2005; SEGANFREDO, 2007;).

No Rio Grande do Sul existem 5,6 milhões de suínos (IBGE, 2011), entretanto os impactos da atividade sobre os recursos naturais principalmente sobre o solo e água são grandes, na medida em que as criações têm negligenciado a aplicação das boas práticas de conservação ambiental que a atividade requer (SCHULTZ, 2007).

Santa Catarina apresenta um plantel de 7,9 milhões de animais (IBGE, 2011), que se concentra principalmente na região oeste do estado, onde a atividade é realizada em pequenas propriedades rurais. Na grande maioria o destino dos dejetos é sua aplicação ao solo como fertilizante agrícola, geralmente numa área próxima à unidade de produção, ocasionando em grande parte dos casos um excedente de nutrientes em relação à capacidade de absorção

pelas plantas cultivadas (BASSO, 2003; SEGANFREDO, 2004; BERWANGER, 2006; MATTIAS, 2006).

Até a década de 1970 a produção de suínos no Brasil ocorria de forma artesanal. Com a inclusão de novas tecnologias promotoras de crescimento, antibióticos e fontes inorgânicas minerais, a suinocultura entrou em uma fase de transformações com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva (GUIVANT & MIRANDA, 2004).

Com o aumento das exportações e interesses logísticos, passou-se a concentrar a produção de suínos em grandes unidades. Com isso, o volume de dejetos produzidos também passou a concentrar-se em nas propriedades (KONZEN, 2005).

Em 1980 a região oeste catarinense apresentava aproximadamente 67.000 suinocultores, sendo 3.860 integrados, esta década foi marcada pelo processo de integração, observando-se o aumento na escala de produção e um menor número de produtores (BERWANGER et al., 2008), no entanto, não houve adequação dos sistemas de manejo, armazenamento e valorização dos dejetos (OLIVEIRA, 1993) concentrando os dejetos nas propriedades integradas.

Chapecó, município situado no oeste de Santa Catarina possui um plantel de 139.539 cabeças de suínos (IBGE, 2011), com uma produção média diária de 9 litros de dejetos líquidos/animal. Portanto, a poluição por dejetos de suínos na região pode interferir na sustentabilidade da atividade, pois os compradores internacionais exigem que a matéria prima a ser adquirida seja produzida dentro dos padrões de qualidade, que entre outros aspectos, exige uma produção

ambientalmente correta (FATMA/EPAGRI, 2006). Estima-se que cada animal em fase de terminação produza diariamente 9 litros de dejetos (DARTORA et al., 1998), ou seja, o equivalente a 3,5 pessoas (LINDNER, 1999). A problemática se agrava devido aos sistemas ineficientes de armazenagem, falta de infraestrutura para distribuição e pequena área agrícola para aplicação dos dejetos (DARTORA et al., 1998).

Outro problema é o lançamento direto dos dejetos, sem nenhum tipo de tratamento nos mananciais de água (KONZEN, 2003) e a aplicação continuada como fertilizante nas mesmas áreas e em frequências e quantidades excessivas em relação à capacidade de absorção das plantas cultivadas (SEGANFREDO, 2000; BASSO, 2003; BERWANGER, 2006; GIROTTO, 2007). O aumento de produtividade com o uso de adubos orgânicos está relacionado com melhorias nas condições químicas, físicas e biológicas do solo (CERETTA et al., 2005).

Ao contrário dos fertilizantes minerais, que podem ser formulados para cada condição de cultura e solo, os dejetos apresentam simultaneamente, nutrientes em quantidades desproporcionais em relação à necessidade das plantas (CQFS-RS/SC, 2004) e adsorção pelo solo (SEGANFREDO, 2004; BERWANGER et al., 2008; PANDOLFO & CERETTA, 2008).

A utilização de dejetos suínos como fertilizante tem um efeito direto e indireto na produção das culturas e pastagens. O efeito direto depende da quantidade de nutrientes contido nele e da quantidade de fertilizantes minerais que podem ser substituídos pelo mesmo. O efeito indireto do dejetos é a ação benéfica nas propriedades

físicas e químicas do solo e intensificação da atividade microbiana e enzimática (SCHERER et al., 1995; SCHERER et al., 1996).

Os dejetos suínos estão disponíveis nas propriedades suinícolas, portanto, a adubação com dejetos suínos, pode trazer como consequência a redução dos custos de produção e uma maior margem de lucro para os produtores, fundamentais para a sustentabilidade econômica da suinocultura (KONZEN, 2003). Porém, o que se observa nas regiões produtoras é o uso de dejetos sem critérios, sem considerar a capacidade de exportação das culturas, ocasionando sérios problemas ambientais, poluindo o ar, a água e o solo (BERTO & MIRANDA, 2004). Além da capacidade de exportação pelas culturas e a constituição química dos dejetos, se faz necessário um estudo do solo, envolvendo as propriedades físicas e químicas, verificando a capacidade de suporte do solo e a necessidade nutricional da cultura a ser implantada (SEGANFREDO, 2007).

2.2 Adubação de pastagens com dejetos suínos

A área total do planeta é de aproximadamente 13,4 bilhões de hectares, destes, 3,5 bilhões são ocupadas por pastagens, o que corresponde a 25% do total. O Brasil apresenta 851 milhões de hectares, sendo 23% dessa área ocupada por pastagens (FAOSTAT, 2004).

Na região oeste do Paraná, o cultivo da forrageira Tifton 85 (*Cynodon spp.*) para altas produtividades de feno é realizado, geralmente, em solos de textura muito argilosa, em que são feitas aplicações de doses elevadas de fertilizantes químicos e orgânicos. No

solo cultivado com forrageira, verificaram-se reduções da macroporosidade e da porosidade total, bem como, aumentos da densidade do solo e da resistência do solo à penetração. Sob uso intensivo para produção de forrageira, a camada superficial do solo apresentou volume de poros com ar menor do que 10% e resistência do solo à penetração superior a 2,5 MPa (GIAROLA et al., 2007). É importante salientar que no cultivo do feno o tráfego de máquinas é intenso, podendo ter contribuído para os resultados do estudo. Assouline et al. (1997) indicaram a elevada suscetibilidade à compactação dos solos dessa região, principalmente daqueles com caráter eutrófico, que são mais utilizados para produção intensiva de forrageiras.

Barnabé (2001), avaliando a fertirrigação de capim marandu com dejetos líquidos de suínos, observou teores médios de 23,12 a 25,8% de MS; 7,6 a 9,8% de PB no corte a cada 33 dias. Nesta mesma pesquisa, foi realizada adubação com 50, 100 e 150 m³ de DLS/ha e o autor constatou que a aplicação de 150 m³ de DLS em substituição à adubação química foi a que promoveu os melhores resultados. Enquanto Rosa et al. (2004), trabalhando com *Brachiaria brizantha*, utilizaram 200 m³ de DLS ha ano⁻¹ e obtiveram 2,8 Mg ha de MS.

Dois fatores limitam a aplicação de dejetos em áreas agrícolas ou de pastejo: a carga hidráulica suportada pelo solo no caso de sistemas de semissólido ou diluído e a carga de nutrientes suportada pelo solo e cultura (MOORE et al., 1997). De maneira geral, o dejetos só deve ser aplicado se o solo suportar o material líquido sem que ocorra a formação de enxurrada durante a aplicação,

bem como, após a ocorrência de precipitações com intensidade maior que a capacidade de infiltração de água na superfície do solo.

Em área de pastagem, Edwards & Daniel (1993) compararam a aplicação de dejetos de aves e dejetos suínos com chuva simulada de 50 mm h⁻¹ e demonstraram que o escoamento superficial nas parcelas com aplicação de dejetos líquidos de suínos foi três vezes maior que a observada com aplicação de esterco de aves e na testemunha. Para os autores, isso pode ser atribuído à adição de água via dejetos e ao selamento da superfície do solo pelas finas partículas contidas no dejetos líquidos de suínos. Por outro lado, aspectos positivos da utilização de dejetos de suínos são relatados quanto à diminuição nas perdas de sedimento (BUNDY et al., 2001; ANDRASKI et al., 2003; GESSEL et al., 2004).

A fertilidade do solo tem sido o principal fator considerado para a obtenção de elevadas produtividades das forrageiras. No entanto, a compactação dos solos cria um ambiente físico desfavorável ao crescimento das plantas e pode impor severas restrições à produtividade e longevidade das forrageiras, mesmo em condições ideais de fertilidade (SILVA et al 1997b; IMHOFF et al., 2000).

2.3 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica é um importante condicionador do solo, favorecendo algumas de suas propriedades, tais como melhoria na estrutura, por promover aumento na estabilidade dos agregados, aumento na porosidade, especialmente dos macroporos, e redução da

densidade. Conseqüentemente afeta positivamente a taxa de infiltração de água no solo e o crescimento do sistema radicial das plantas (KIEHL, 1979; SÁNCHEZ & SALINA, 1981; BRAIDA, 2011). A melhoria nas propriedades físicas do solo reduz sua suscetibilidade à erosão e assim, indiretamente, reduz os danos que esta causa aos solos agrícolas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

A manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica e da capacidade produtiva do solo pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com pequeno, ou nenhum revolvimento e por sistemas de cultura com aplicação de resíduos, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

O teor de matéria orgânica é caracterizado como um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e que também tem mais influência na reversão do estado de compactação do solo (ASSOULINE et al., 1997; SILVA et al., 2006a).

Segundo Zinn et al. (2005) as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam no rompimento dos macroagregados, mediante a redução da proteção física da matéria orgânica e expondo a processos microbianos.

Barilli (2005) avaliou as propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho distroférico mediante a aplicação de resíduo líquido de suínos, após os períodos de aplicação de três, sete e vinte e seis anos sob a cultura do café. A aplicação do resíduo líquido de suíno promoveu aumento da matéria orgânica, dos

ácidos húmicos e da humina até 80 cm de profundidade, em relação a área de mata. Resultados semelhantes foram obtidos por Bayer & Mielniczuk (1999), que constataram aumento do teor de matéria orgânica com a aplicação de dejetos líquidos suínos (DLS). Porém Scherer et al. (2010) comparando várias lavouras com e sem aplicação de DLS por 15 ou mais anos, em três classes de solos característicos do Oeste Catarinense (Latossolo, Cambissolo e Neossolo), não constataram diferenças no teor de MO nas camadas amostradas. Os autores justificam este resultado devido ao baixo teor de matéria seca presente no dejetos suínos aplicados, que em média apresentam 3%.

Assmann et al. (2007) avaliaram os efeitos da aplicação de dejetos líquidos suínos em Latossolo Vermelho utilizando 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos suínos aplicados aos 48 e 116 dias após a emergência das culturas de aveia e azevém. Não foi constatado aumento nos teores de matéria orgânica do solo. Os autores salientam que embora não tenha ocorrido aumento no teor de matéria orgânica do solo, devem-se considerar as características intrínsecas do dejetos aplicados, em que a qualidade dos compostos orgânicos pode determinar maior ou menor acúmulo de matéria no solo. Os compostos orgânicos presentes nos dejetos suínos são de fácil mineralização, oxidando em poucos dias ou semanas (REDOY et al., 1979), favorecidos pela maior atividade microbiana decorrente do dejetos aplicados (FRANCHINI et al., 1999).

Arruda (2007) avaliou o efeito de doses crescentes de dejetos suínos, em atributos químicos e físicos do solo. Os tratamentos consistiram de 0, 25, 50 e 100 m³ ha⁻¹ de dejetos suínos e o teor de matéria seca do dejetos aplicados era de 5,6%. Os teores de carbono (C)

orgânico no solo variaram em profundidade, sem efeito dos tratamentos, houve um incremento de C orgânico na camada 0-5 cm. O autor justifica que o fato da aplicação de dejetos não resultar em incrementos de C orgânico nas camadas mais profundas deve-se provavelmente ao aumento na atividade microbiana motivada pelo dejetos.

2.4 Propriedades físicas do solo e a aplicação de dejetos suínos

O solo é um reservatório de água às plantas, os fatores que influenciam a disponibilidade de água às culturas são: a estrutura do solo, a textura, tipo e quantidade de argila e teor de matéria orgânica (KLEIN & LIBARDI, 2000).

As mudanças nos atributos físicos do solo provocados pela aplicação de dejetos suínos têm sido estudadas em alguns solos (OLIVEIRA, 1993), pois, existem contradições em relação ao assunto. As principais propriedades alteradas geralmente são a densidade, a porosidade, a resistência do solo a erosão superficial e a estabilidade de agregados e aumento da capacidade de retenção de água.

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando-se diferentes propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como: compactação do solo (TAYLOR & BRAR, 1991), densidade (KLEIN & LIBARDI, 2002), resistência do solo à penetração das raízes (TORMENA et al., 1998), estrutura (RIBEIRO, 1999), porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (BEUTLER et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2001), adsorção e absorção de nutrientes,

infiltração e redistribuição de água (LIBARDI, 2005; GIROTTI et al., 2009) trocas gasosas e desenvolvimento radicial (KLEIN, 1998).

Moraes et al. (2010) avaliaram o efeito do uso de dejetos líquidos de suínos nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico, e concluíram que a utilização de dejetos líquidos de suínos por três ciclos não alterou as propriedades físicas do solo.

Segundo Klein (2012), a estrutura do solo ideal é aquela que permite uma grande área de contato entre as raízes e o solo, apresentando espaço poroso que permita a movimentação da água, além da resistência à penetração não interferir no desenvolvimento das raízes das plantas.

2.4.1 Argila dispersa em água e índice de floculação

A argila dispersa em água é comumente usada para avaliar a susceptibilidade do solo à erosão hídrica, como exemplifica (GROHMANN & VAN RAIJ, 1977; LIMA et al., 1990), porém, o interesse nessa fração do solo tem aumentado, devido à sua interferência na mobilidade de substâncias no solo (MCCARTHY & ZACHARA, 1989; SETA & KARATHANASIS, 1996; BERTSCH & SEAMAN, 1999).

A ADA constitui importante fator na ocorrência de encrostamento superficial, taxa de infiltração e escoamento superficial de água (LEVY et al., 1993). A dispersão da argila diminui a porosidade do solo, podendo interferir de maneira acentuada na movimentação de água no perfil.

Dentre os fatores diretamente associados à dispersão da argila do solo estão a relação de adsorção de sódio e a condutividade elétrica da água residuária (HOMEM et al., 2012). Devido a esses fatores, é de extrema importância a caracterização das águas residuárias, tanto para verificar a composição química como para definir a quantidade a ser aplicada sem acarretar problemas ao sistema solo-planta.

Costa et al. (2009) avaliaram a influência da fertilização com cama de frango na recuperação física de um Latossolo. O teor de argila dispersa em água decresceu com o aumento das doses de cama aplicadas e, conseqüentemente, houve incremento no grau de floculação; houve pequena redução na densidade do solo e na porosidade total, independentemente da camada e épocas de amostragem. As propriedades físicas do solo avaliadas responderam com maior intensidade às aplicações de cama de frango nas doses variando de 2.666 a 3.750 kg ha⁻¹. Os efeitos benéficos da adubação orgânica, nas propriedades físicas do solo parecem manifestar-se mais rapidamente em solos com maior grau de degradação.

Lima (2007) avaliou a influência da aplicação de dejetos suínos na recuperação física de um Latossolo Vermelho textura média, degradado, submetido ao uso de pastagem. As propriedades físicas do solo foram influenciadas pela adubação com dejetos suínos, sendo as épocas e profundidades de amostragem determinantes da magnitude destas modificações. O teor de argila dispersa em água decresceu com o aumento das doses de dejetos, houve incremento no grau de floculação e na estabilidade em água.

Erthal et al. (2010) avaliando alterações químicas e físicas de um Argissolo em duas camadas (0-10 e 10-25 cm), através da aplicação de água residuárias de bovinos, verificaram 40% de dispersão de argila na camada 0-10 cm. Os autores afirmaram que este fato, pode ser devido ao efeito cumulativo de sódio e potássio, visto que, estes elementos são considerados dispersantes e são encontrados em concentrações maiores do que os elementos flocculantes, favorecendo assim, a dispersão.

Lemos & Silva (2005) afirmam que a floculação é importante para o controle da erosão, já que propicia a formação de agregados estáveis ou grânulos, pois ocorre uma maior permeabilidade do solo, favorecendo o crescimento vegetal.

2.4.2 Densidade do solo

Densidade do solo é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105 °C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (KIEHL, 1979; DEXTER et al., 2008). As amplitudes de variação das densidades do solo nas camadas superficiais situam-se dentro dos seguintes limites médios: solos argilosos 1,00 a 1,40 kg dm⁻³, solos arenosos, de 1,30 a 1,80 kg dm⁻³ e solos orgânicos 0,20 a 0,60 kg dm⁻³ (LIBARDI, 2005).

A densidade do solo tem sido usada principalmente como indicador da compactação, assim como para medir alterações da estrutura e porosidade (REINERT & REICHERT, 2006).

A adição de resíduos orgânicos ao solo, por tempo prolongado, promove diminuição nos valores da densidade do solo,

devido ao aumento nos valores da matéria orgânica do solo (KIEHL, 1985; RAIJ, 1991; SANTOS & CAMARGO, 1999; BARBOSA et al., 2002).

A matéria orgânica é capaz de reduzir a densidade do solo, pois além do fato de estar acrescentando ao solo um material cuja densidade média vai de 0,20 a 0,40 kg dm⁻³, existe também a ação das partículas cimentantes da matéria orgânica sobre as partículas primárias do solo (areia, silte e argila), que irá melhorar a estruturação do solo, tornando-o mais “solto” e menos denso. (MELLO et al., 1983; KIEHL, 1985; MEURER, 2007).

Barzegar et al. (2002) aplicaram doses de dejetos de curral de 0 a 15 Mg ha⁻¹ e constataram diminuição na densidade e aumento na porosidade do solo.

Dortzbach et al. (2009) após cinco anos avaliando a influência de aplicações de dejetos líquido suíno com 32 g kg⁻¹ de matéria seca e cama sobreposta em plantio direto, não observaram diferenças significativas referentes a densidade do solo.

2.4.3 Densidade Relativa

A densidade relativa do solo (DR) consiste na relação entre a densidade do solo no campo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor (CARTER, 1990). Vários autores têm mostrado a utilidade desse indicador na caracterização da compactação e resposta das culturas em diferentes tipos de solo (HAKANSSON, 1990; SILVA et al., 1997a; BEUTLER et al., 2005).

A DR é um indicador adequado para determinar a qualidade física do solo, onde os valores ótimos ou restritivos ao desenvolvimento das plantas dependerão da espécie e das condições climáticas em questão (TORRES & SARAIVA, 1999; KLEIN & LIBARDI 2002; KLEIN, 2006).

Conforme Klein (2012) o ensaio de Proctor foi desenvolvido em razão das necessidades da engenharia civil, especificamente na mecânica de solos, sendo recente sua utilização para fins de estudo na dinâmica dos solos agrícolas. As grandes vantagens da utilização desta metodologia são o baixo custo dos equipamentos e a praticidade e rapidez da sua realização.

Valores de DR que variam de 0,72 a 0,84 são citados na literatura como representando condições ótimas ao desenvolvimento das plantas já valores superiores à faixa de 0,86 a 0,90 provocam uma grande redução no volume de macroporos (KLEIN & LIBARDI 2002). Valores acima de 0,90 afetam significativamente o sistema radicial, com grande engrossamento e desvios no crescimento vertical (MARCOLIN, 2009).

2.4.4 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência à penetração (RP) das raízes tem sido frequentemente utilizada para avaliar a qualidade física do solo por ser sensível ao manejo e ter relações diretas com o crescimento radicial (FREDDI et al., 2007) e com a produtividade das plantas (BENGOUGH et al., 2001; BEUTLER et al., 2006).

A RP do solo também pode limitar a produção vegetal, o que ocorre quando a diminuição do crescimento das raízes é de tal magnitude que a água durante o cultivo se reduz em relação ao nível ótimo (CARDOSO, 2007), ou seja, fica com umidade inferior a faixa entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

A RP é bastante variável (espacial e temporal), sendo influenciada pelas condições do manejo dado ao solo e à intensidade de tráfego das máquinas agrícolas e é dependente da umidade do solo (MIRANDA, 2006), textura, mineralogia, matéria orgânica e principalmente da densidade do solo. A RP e a densidade são utilizadas para definir níveis a partir dos quais o solo está compactado e requer medidas corretivas. Esta propriedade pode ser usada como referência para monitorar a compactação do solo (KLEIN, 2012).

A maioria dos trabalhos já realizados adota a seguinte classificação de RP, a) extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; b) muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; c) baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; d) moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; e) alta: $2,0 \leq RP \leq 4,0$ MPa; f) muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e g) extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa proposta por Arshad et al. (1996).

A RP aumenta com a compactação e com a diminuição da umidade do solo (BENGOUGH & MULLINS, 1990), sendo restritiva ao crescimento radicial acima de certos valores que variam de 2,0 a 4,0 MPa e de 1,5 a 3,0 MPa respectivamente, segundo Arshad et al. (1996) citados por Beutler et al. (2001) Grant & Lafond (1993), ou variando de 1 a 3,5 MPa, de acordo com Taylor & Burnett (1964), Gerard et al. (1972), Nesmith (1987), Merotto & Mundstock (1999).

Rauber (2011) avaliou o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos sobre propriedades 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 resistência do solo à penetração variou de 495 kPa a 1622 kPa, sendo influenciada pelos sistemas de uso do solo e com a aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves. A resistência à penetração apresentou correlação positiva com a densidade do solo, indicando que os valores de resistência à penetração são diretamente proporcionais à densidade do solo.

Moura et al. (2012), avaliaram o efeito da RP em pastagem tendo a aplicação de dejetos líquido suíno e cama de frango como condicionadores do solo. As doses de dejetos utilizadas foram de 200 e 400 m³ ha⁻¹. Após dois anos de determinação da RP, os pesquisadores concluíram que a aplicação de DLS não influenciou a RP, os valores se mantiveram semelhantes nos tratamentos com aplicação e na testemunha.

2.4.5 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros

A permeabilidade do solo é importante para a aeração, para a infiltração e o armazenamento de água no solo, depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do diâmetro dos poros (JOKELA et al., 2009).

Segundo Beutler et al. (2001), a compactação e a descontinuidade de poros são responsáveis pela redução significativa

da permeabilidade do solo ao ar e à água. Esses aspectos físicos e hídricos variam conforme o solo (LIBARDI, 2005) e atuam conjuntamente com atributos biológicos e químicos na determinação dos impactos dos dejetos no ambiente (CERETTA et al., 2009).

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.

Algumas das propriedades físicas alteradas pelas práticas de manejo são a densidade, a estrutura e, conseqüentemente, o arranjo e o volume dos poros. Essas alterações influenciam nas propriedades físico-hídricas, dentre elas a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998).

A incorporação de dejetos animais ou outros materiais orgânicos em condições adequadas de umidade pode promover efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo, como aumento da microporosidade e retenção de água (HAFEZ, 1974; WEIL & KROONTJE, 1979).

Pagliai et al. (1983) observaram que a aplicação de dejetos suíno, na dose de 300 m³ ha⁻¹, aumentou a porosidade total de 0,10 para 0,31 m³ m⁻³ principalmente pela participação de poros maiores que 30 micras de diâmetro, na camada superficial de um solo argilo-siltoso.

Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993) observaram aumento na porosidade do solo após aplicação de resíduos

de suínos sendo o maior aumento devido ao desenvolvimento de macroporos. O aumento da macroporosidade é particularmente importante, pois pode influenciar no crescimento das raízes, infiltração de água e aeração do solo.

Jorge et al. (1991) não encontraram diferenças na microporosidade, com a aplicação de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de lodo de esgoto, durante quatro anos, em Latossolo Vermelho argiloso. Sort & Alcaniz (1999) verificaram que a aplicação de 400 Mg ha⁻¹, em quatro anos, não alterou a microporosidade ao final deste período.

Arruda (2007) avaliou o efeito de doses crescentes de dejetos suínos no sistema de semeadura direta. A maior dose utilizada foi 200 m³ ha⁻¹, os valores de porosidade total observados pelo autor variaram de 0,44 m³ m⁻³ a 0,48 m³ m⁻³ na média dos tratamentos.

Araújo et al. (2004) salientam que valores adequados de capacidade de aeração são dependentes das condições climáticas e que devem ser ampliados sob condições mais úmidas. Deve-se ressaltar que o fluxo de gases bem como o movimento de água no solo está intimamente relacionado ao seu volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicial, bem como, a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil depende dessa propriedade. Sua efetividade, nesses casos, depende além da quantidade, da sua continuidade em profundidade e da abertura à superfície (SILVA et al., 2005).

Andrade et al. (2010) ressaltam 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

radicial, bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

2.4.6 Água no solo

A retenção e a disponibilidade de água para as plantas determinam seu crescimento e a produtividade das culturas (COSTA, 2012). É um atributo dependente da granulometria, estrutura, mineralogia, teor de matéria orgânica entre outros.

O entendimento e a quantificação da dinâmica da água no solo devem orientar a definição de estratégias de manejo do solo e da água. O conteúdo de água no solo define a aeração, a temperatura e a resistência do solo, que são afetados indiretamente pela densidade do solo e distribuição do diâmetro de poros (RICHART et al., 2005).

A estrutura, por determinar o arranjo das partículas e por consequência a distribuição do diâmetro dos poros, juntamente com o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica do solo afetam em muito a disponibilidade de água as culturas.

Segundo Tormena et al. (1999) o solo constitui um reservatório ao qual se repõe, periodicamente a água retirada pela cultura, respeitando-se um valor limite inferior para a disponibilidade de água. O conceito de água disponível (AD) entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) é amplamente utilizado.

No Brasil alguns estudos foram desenvolvidos utilizando pedofunções, a partir de dados disponíveis como estrutura, textura e teor de matéria orgânica, com o objetivo de estimar a retenção de água

no solo. Pode-se citar o trabalho de Giarola et al. (2002) que avaliaram solos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul; Reichert et al. (2009) solos do Rio Grande do Sul; Michelon et al. (2010) solos irrigados do Rio Grande do Sul.

Costa et al. (2010) avaliaram 438 amostras de solos de Santa Catarina. O teor de água disponível variou desde $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ para as classes areia, argilo-arenosa, argila e muito-argilosa, até $0,16 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, para a classe argilo-siltosa. Para as classes com maior número de amostras, a variação foi: areia com AD de $0,05$ a $0,17 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; argila com AD de $0,06$ a $0,16 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ e muito argilosa com AD de $0,04$ a $0,17 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$.

No Brasil, considerando a grande diversidade dos fatores de formação, os solos apresentam diferenças marcantes quanto a textura e mineralogia, atributos que alteram significativamente a retenção de água no solo (SAXTON & RAWLS, 2006).

2.4.7 Permeabilidade do solo ao ar

A permeabilidade do solo (K_a) vem sendo utilizada com o intuito de avaliar a qualidade dos solos cultivados, demonstrando sensibilidade em detectar alterações na estrutura (ROSEBERG & MCCOY, 1992; KLEIN et al., 2011). A qualidade e a quantidade do ar no solo são fatores primordiais ao crescimento radicial e aos processos biogeoquímicos que controlam os ciclos dos nutrientes. Desta forma, a adequada troca de gases entre ambiente radicial e a atmosfera afeta o crescimento das plantas (SILVA et al., 2009).

A permeabilidade ao ar é inversamente relacionada com o conteúdo de água do solo, de modo que, quanto menor a proporção de poros preenchidos com ar, menor é a permeabilidade do solo ao ar (SILVA et al., 2009).

Klein et al. (2010) demonstram que a K_a tem relação direta com a umidade volumétrica e com a RP, pois, quanto maior a umidade ou quanto maior adensamento do solo menor é o espaço em que o ar circula, portanto menores são os valores de permeabilidade. O contrário também é verdadeiro, quanto maior o volume de poros livres de água maior será a permeabilidade.

A importância da permeabilidade ao ar reside no fato de que as plantas, para terem um adequado desenvolvimento, necessitam de determinadas proporções nas concentrações de O_2 e CO_2 , o que controla os demais processos ocorrentes no solo e que envolvem, por exemplo, o C, o N e o S (SILVA et al., 2009).

As proporções de gases no solo são adequadas quando, além da proporção e distribuição ideal de poros, há a ligação dos mesmos com a atmosfera externa, o que afeta diretamente o desenvolvimento de plantas (SEQUINATTO, 2010).

2.4.8 Agregados do solo estáveis em água

A principal propriedade 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 propriedades 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., 2005; BRANCALIÃO & MORAIS, 2008).

Gubiani et al. (2007), demonstraram que os atributos físicos de um solo com histórico de oito anos de plantio direto foram pouco influenciadas pela adição de dejetos suínos, porém, o aumento da dose de dejetos de suínos incrementou a produção de matéria seca das culturas, e isso, segundo os autores num período maior, poderá contribuir para a melhoria da estrutura do solo.

A utilização sucessiva de dejetos suínos pode alterar a condição estrutural do solo, podendo ser evidenciado por modificações na quantidade, continuidade e tamanho dos poros (RIBEIRO et al., 2007).

A aplicação de resíduos orgânicos pode aumentar a estabilidade dos agregados do solo, mas esse efeito depende da classe de textura. Solos arenosos, com menor estabilidade, respondem mais que solos argilosos com inerente estabilidade dos agregados. O efeito dos dejetos de animais sobre a estabilização dos agregados do solo em água varia de solo para solo e, muitas vezes, são necessárias aplicações durante vários anos para que as diferenças sejam detectadas (WEIL & KROONTJE, 1979).

Bertol & Santos (1995) não constataram diferença comparando o diâmetro médio ponderado (DMP) na camada superficial de um Cambissolo Húmico utilizado com lavoura e

pastagem, em relação à condição de mata nativa, reflorestamento e campo nativo. Raízes de gramíneas perenes, quando comparadas a outras espécies, geralmente aumentam a estabilidade dos agregados, devido a alta densidade de raízes e às renovações do sistema radicial (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Piccolo & Mbagwu (1990) observaram que a estabilidade de microagregados tem maior correlação com o conteúdo das substâncias húmicas que qualquer outro componente da matéria orgânica do solo, havendo correlação significativa na estabilidade de microagregados com o conteúdo de substâncias húmicas de pesos moleculares altos, melhorando a estabilidade destes microagregados. Os autores observaram, também, que a adição de resíduos de suínos, lodo de esgoto e resíduos de bovinos em solo arenoso resultou em aumento da estabilidade dos agregados em 34, 41 e 26%, respectivamente, enquanto que para o solo argiloso não houve resposta significativa.

Burak et al. (2001) avaliaram o efeito da matéria orgânica na agregação do solo, observaram que maiores teores de ácido fúlvico do solo participaram na composição de menores agregados e o ácido húmico e humina participaram predominantemente na composição de agregados maiores, sugerindo ainda que o ácido húmico contribui também como agente cimentante dos menores agregados para formação dos agregados maiores.

Castro Filho et al. (2003) avaliando o potencial fertilizante do chorume de suínos e as alterações nas propriedades físicas de solos argilosos de diferentes classes texturais, verificaram que a aplicação de doses crescentes de chorume suíno proporcionou melhoria na

agregação do solo como resultado do aumento no teor de carbono orgânico e, como consequência, aumento nas taxas de infiltração.

Arruda et al. (2010) observaram que a aplicação de dejetos suíno nas doses de 50 e 100 m³ ha⁻¹ reduziu a estabilidade dos agregados do solo, entretanto esta redução pode ser considerada de pequena magnitude, pois o solo em questão possui elevados teores de argila e óxidos de ferro, o que juntamente com o teor de carbono orgânico, confere elevada estabilidade de agregados.

Barilli (2005) avaliou as propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho distroférico mediante a aplicação de resíduo líquido de suínos, após os períodos de aplicação de três, sete e vinte e seis anos sob a cultura do café. A aplicação do resíduo líquido de suíno promoveu aumento da matéria orgânica, dos ácidos húmicos e da humina até 0,80 m, em relação a área de mata. A aplicação de resíduo diminuiu o diâmetro médio ponderado dos agregados, a porcentagem de agregados com diâmetro entre 8 e 2 mm e a permeabilidade do solo, aumentou a porcentagem de agregados com diâmetro entre 2 e 0,105 mm e não influenciou na macroporosidade, microporosidade e na porosidade total.

Leiros et al. (1996) relatam que logo após a aplicação de dejetos suíno num solo degradado observou-se um rápido aumento na cobertura do solo, favorecendo o aparecimento de espécies nativas, assim como uma melhoria nas suas propriedades físicas e químicas do solo que em conjunto beneficiaram a infiltração de água.

2.4.9 Consistência do solo

A consistência do solo é consequência das manifestações de forças físicas de adesão e coesão que atuam de acordo com a variação da umidade (VASCONCELOS et al., 2010). De forma geral, o conceito de consistência do solo inclui a resistência à compressão e ao esforço cisalhante, friabilidade, plasticidade e pegajosidade, propriedades que se manifestam conforme a variação das forças de adesão e coesão. Atterberg foi quem introduziu os conceitos de limite plástico, limite líquido e índice de plasticidade.

Os estados de consistência podem ser sólido, semissólido, plástico e líquido. A umidade do solo a base de massa, do ponto de transição entre o estado semissólido e o plástico é denominado de limite de plasticidade (LP) e a umidade do solo no ponto de transição entre o estado plástico e o líquido, de limite líquido (LL). O intervalo de umidade do solo entre o limite líquido, condição a partir da qual o solo se comporta como fluido, e o limite de plasticidade condição de umidade abaixo da qual o solo se apresenta friável, é denominado de índice de plasticidade (SMITH et al., 1985; KLEIN, 2012).

Segundo Buckman & Brady (1979) com o aumento do teor de argila, ocorre um pequeno aumento do limite de plasticidade e um aumento proporcionalmente maior do limite líquido. Consequentemente, há um aumento do índice de plasticidade com teores crescentes de argila.

2.4.10 Umidade ótima de compactação

A compactação do solo é considerada por Freitas (1994) a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento de raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes. Destaca-se ainda que, por depender de vários fatores, como a variabilidade temporal da umidade do solo na zona do crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado.

As operações agrícolas, quando realizadas fora da condição de umidade do solo ideal, provocam aumento da sua área compactada, o que pode reduzir a infiltração e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas, comprometendo a produtividade (SECCO et al., 2004).

A água no solo atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas. Desta forma, o movimento das partículas de solo é favorecido pelo aumento da umidade. Este processo continua até que a água sature praticamente todos os poros do solo. A partir desse momento, a cada incremento no conteúdo de água não corresponderá um incremento na densidade, visto que a água não pode ser comprimida (SMITH et al., 1997; SILVA et al., 2000a).

Klein (2012) destaca que a umidade ótima de compactação (UOC) é a umidade péssima para a realização de trabalhos com máquinas agrícolas, pois nessas condições mais facilmente ocorrem alterações na estrutura do solo, acarretando a compactação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, clima e solo

O experimento foi instalado na Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina/Centro de pesquisa para a agricultura familiar (Epagri/Cepaf) em Chapecó, na região Oeste de Santa Catarina, no ano de 2007, onde foram aplicadas periodicamente distintas doses de dejetos líquidos de suínos (DLS). Nesse experimento está sendo avaliado o desempenho e caracterização da grama-missioneira, em função de doses de dejetos suínos (MIRANDA, 2010).

A área em estudo (Figura 1) recebeu dejetos suínos por quatro anos. Cada dose foi fracionada em quatro aplicações, perfazendo um total de 16 aplicações.



Figura 1 - Área de estudo. Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012.

A área experimental está situada a 679 m de altitude, com latitude de 27° 07'S e longitude de 52° 37'O. O clima da região é do tipo Cfa na classificação de Köeppen, isto é, subtropical com chuvas bem distribuídas no verão (MOTA et al., 1970). A área experimental possui 0,5 ha, o tipo de solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006).

A área onde o experimento foi instalado apresenta declividade de 16,5%, conforme Figura 2.

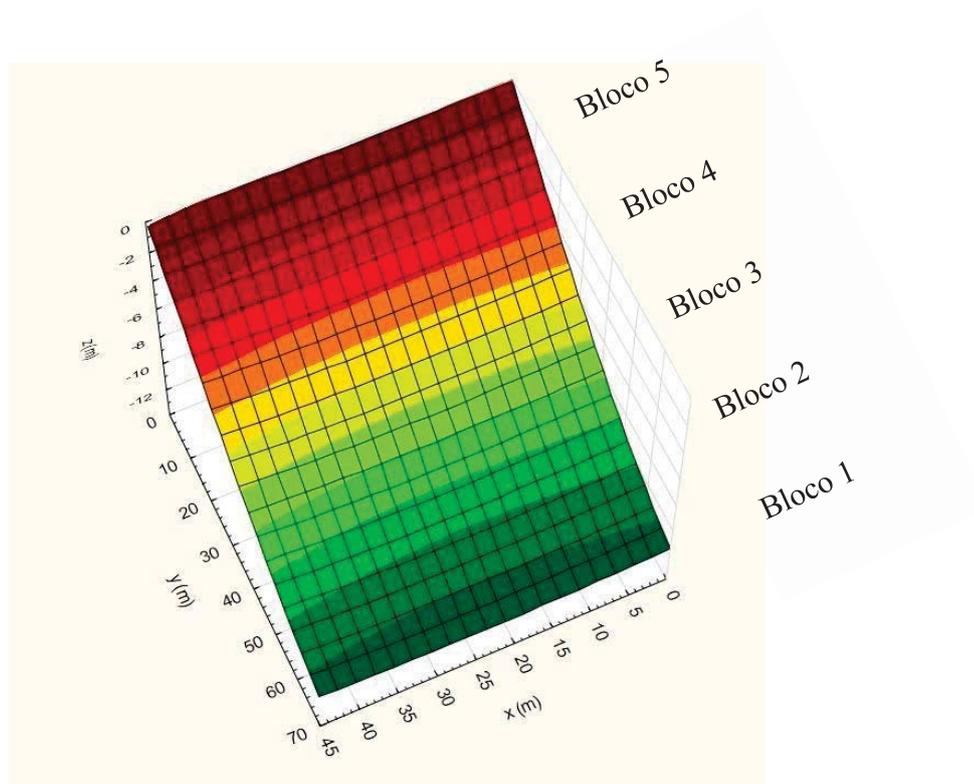


Figura 2 - Declividade da área experimental com disposição dos blocos. Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012.

3.2 Histórico da área

Segundo Miranda (2010), a área experimental anteriormente era explorada com culturas anuais para a produção de grãos, e o solo preparado com aração e gradagem. Posteriormente, foi implantado o capim-ramirez (*Paspalum guenoarum* Arech) e submetido ao pastejo com bovinos de corte até a safra 2001/02. Nesse período, a acidez do solo foi corrigida, elevando-se o pH de 5,6 para 6,0, mediante calagem superficial.

Na safra 2002/03, a pastagem foi dessecada e semeada aveia-preta. Na primavera, a aveia-preta (*Avena strigosa*) foi dessecada para o cultivo de milho em plantio direto, seguida da adubação com 140 kg ha⁻¹ de N (ureia), 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Após a colheita do milho foi realizado o plantio de mudas de grama-missioneira-gigante (*Axonopus jesuiticus* x *A.scoparius*) nas entrelinhas da cultura antecedente. Uma vez concluído o plantio e até que houvesse uma boa cobertura do solo pela espécie forrageira, a área foi manejada em pastejo com bovinos de corte, até agosto/2005. Nesse período de pastejo a presença de invasoras foi controlada manualmente e com enxada. Depois, a pastagem foi utilizada a cada 35 dias, por no máximo dois dias em cada ciclo de pastejo. A adubação mineral foi aplicada em cobertura conforme recomendação da SBCS (2004), utilizando-se as recomendações para gramíneas perenes de verão, mediante a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de N. A dose de N foi fracionada em três épocas, em setembro,

novembro e fevereiro de cada ano. Esse manejo foi utilizado até agosto de 2007, quando foi efetuado o último pastejo.

Em setembro de 2007, com o objetivo de uniformizar a pastagem, foi feita uma roçada, com altura de corte média de 5 cm do solo. O material roçado foi amontoado e retirado da área.

Em junho de 2007, foi realizada a amostragem de solo com pá-de-corte em cinco pontos aleatórios/repetição. Em cada ponto foram coletadas três subamostras nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, totalizando 15 amostras/repetição. As análises de solo foram feitas no Laboratório de solos da Epagri/Cepaf de Chapecó, de acordo com a metodologia de Tedesco (1995). Não foi necessário realizar calagem e adubação de correção na área.

3.3 Delineamento experimental e arranjo dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos completamente casualizados, com cinco repetições (Figura 3). A unidade experimental é uma parcela com 6,0 m x 5,0 m (30 m²), subdividida em seis camadas. A área útil de cada parcela é de 1,5 m². As doses foram alocadas na parcela principal e as camadas na subparcela.

Os tratamentos consistem de seis doses de DLS (0, 48, 99, 144, 192 e 240 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e seis camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm) (Tabela 1). As doses de DLS foram fracionadas em quatro aplicações anuais por um período de quatro anos, perfazendo um total de 16 aplicações.

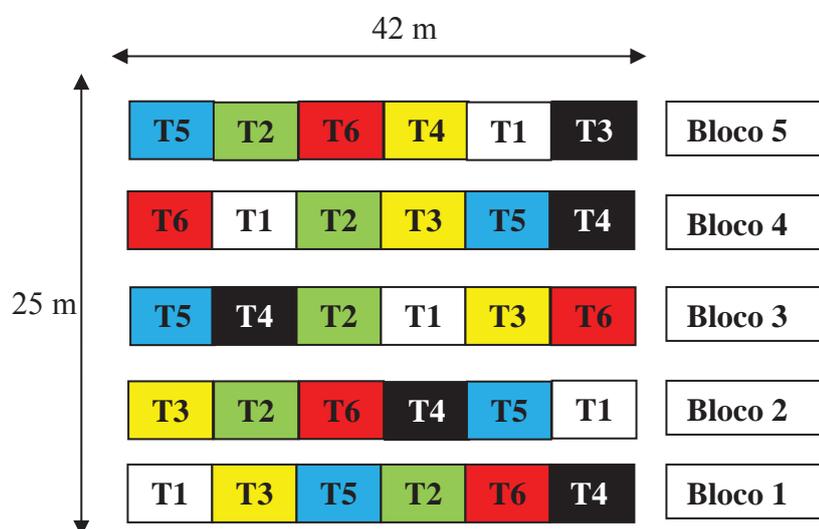


Figura 3 - Croqui da área experimental e as doses de DLS. Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012.

Tabela 1 - Doses utilizadas no experimento, fracionadas em quatro aplicações

Doses	Legenda	Descrição	Total de MS kg ha ⁻¹ (16 aplicações)
T1		Testemunha dose (0)	0
T2		40 m ³ DLS ha ⁻¹ ano ⁻¹	2757
T3		80 m ³ DLS ha ⁻¹ ano ⁻¹	5514
T4		120 m ³ DLS ha ⁻¹ ano ⁻¹	8271
T5		160 m ³ DLS ha ⁻¹ ano ⁻¹	11028
T6		200 m ³ DLS ha ⁻¹ ano ⁻¹	13785

O teor médio de matéria seca (MS) dos DLS utilizados no experimento foi de 1,72%, conforme estudo desenvolvido por

Miranda (2010). Este teor é inferior ao citado por Scherer et al., (1996) que aponta 3,0% de matéria seca para os dejetos produzidos na região oeste catarinense.

3.4 Coleta das amostras

As amostras com estrutura preservada foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 cm, com o auxílio de um amostrador do tipo “Uhland”, utilizando cilindros de aço inoxidável com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, resultando em volume aproximado de 100 cm³ (Figura 4-A). Estas amostras foram utilizadas para a determinação da densidade do solo, retenção de água, resistência mecânica do solo à penetração, permeabilidade ao ar, porosidade e distribuição do diâmetro dos poros. Nas mesmas camadas foram coletadas amostras com estrutura não preservada (Figura 4-B) para a determinação da matéria orgânica, análise granulométrica, argila dispersa em água, índice de floculação, densidade dos sólidos, agregados do solo, consistência do solo, totalizando 180 amostras com estrutura preservada e 180 amostras com estrutura não preservada.

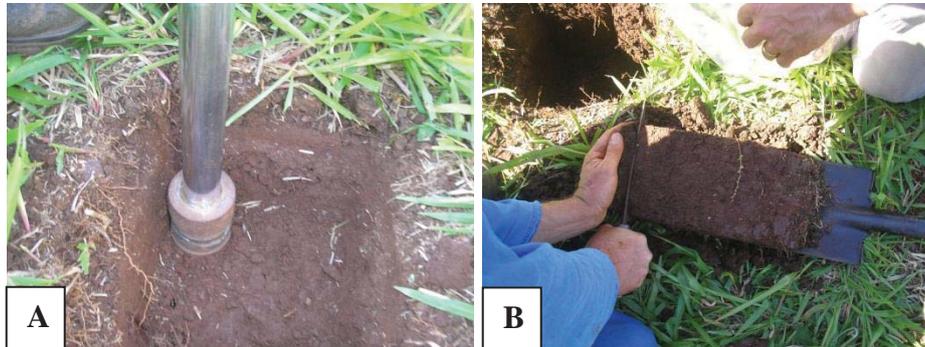


Figura 4 - Coleta de amostra de solo com estrutura preservada (A), coleta de amostra de solo com estrutura não preservada (B). Epagri/Cepaf. Chapecó, SC, 2012.

3.5 Matéria orgânica do solo

Os teores de matéria orgânica foram determinados com ação oxidante do dicromato de sódio e do ácido sulfúrico, denominado metodologia da solução sulfocrômica de Tedesco et al. (1995). O solo foi acondicionado em frascos de Erlenmeyer de 50 mL e adicionado 15 mL de solução sulfocrômica. Após foi aquecido em banho-maria por 30 minutos e agitando por 5 minutos. Adicionou-se 15 mL de água as amostras que permaneceram em repouso durante a noite. Na manhã seguinte faz-se a leitura no espectrofotômetro.

3.6 Análises físico-hídrico-mecânicas do solo

3.6.1 Textura do solo

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986; EMBRAPA, 1997), o solo foi disperso por meio químico e mecânico por 15 horas, após a suspensão foi tamisada em peneira com 0,053 mm para reter toda a areia; lavou-se, então, a areia até preencher o volume de 1 litro da suspensão na proveta. Depois, de acordo com a temperatura da suspensão determinou-se o tempo para pipetagem, baseado na equação de Stokes. Essa alíquota da suspensão foi secada em estufa, determinando a concentração de sólidos do solo. Realizaram-se duas pipetagens, a primeira determinou a fração silte+argila imediatamente depois da agitação, e a segunda em média 4 horas após, determinando a fração argila.

3.6.2 Argila dispersa em água e índice de flocculação

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada pelo método da pipeta sem a adição de dispersante químico, apenas com a agitação mecânica por 15 horas e água destilada como suspensão dispersante, efetuando-se a pipetagem da argila dispersa e suspensão num tempo médio de 4 horas, após a agitação da solução.

A partir da determinação da ADA e da argila total foi obtido o índice de flocculação utilizando a equação (1):

$$IF(\%) = \frac{\text{Argila total (\%)} - \text{Argila dispersa em água(\%)}}{\text{Argila total(\%)}} \quad (1)$$

3.6.3 Densidade do solo e densidade dos sólidos do solo

Para a determinação da densidade do solo, as amostras com estrutura preservada, foram levadas à estufa e obtida a massa de solo seco e com a relação com o volume do anel foi calculada a densidade (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da densidade dos sólidos do solo pesaram-se 20g de solo seco em estufa a ± 105 °C por 24 horas. As 20g foram colocadas em balão volumétrico de 100 mL, acrescentou-se álcool etílico (96%) no balão até cobrir todo o material, aproximadamente 40 ou 50 mL. Quando cessou a liberação de bolhas de ar do líquido o balão permaneceu fechado por 24 horas. Após este período completou-se o volume do balão com álcool. Para calcular a densidade de sólidos do solo foi utilizada a equação (2), (EMBRAPA, 1997).

$$DSS = \frac{MS}{100 - VA} \quad (2)$$

Onde:

DSS= Densidade dos sólidos do solo (g cm^{-3})

MS= massa de solo (g)

VA= Volume de álcool adicionado (mL)

3.6.4 Densidade máxima do solo

Para a determinação da densidade máxima do solo (D_{smax}) não foram realizados ensaios de Proctor em virtude do número de doses, camadas e volume de solo necessário para o ensaio, que poderia comprometer as parcelas, uma vez que para cada curva de Proctor são necessários 15 kg de solo. Em função disso, optou-se pela utilização da equação (3) de Marcolin & Klein (2011), tendo como base o teor de matéria orgânica e argila. Antes de optarmos pela equação foi determinada uma curva de Proctor em cada bloco, fora das parcelas utilizando uma amostra composta de solo. A partir das curvas, como os resultados foram semelhantes optou-se pela equação. Os teores de matéria orgânica utilizados para o cálculo foram os obtidos na análise de rotina ($g\ kg^{-1}$) e o teor de argila em ($g\ kg^{-1}$).

$$D_{smax} = 2,03133855 - 0,0030878 * (MO) - 0,00076508 * (Argila) \quad (3)$$

Para determinação da umidade ótima de compactação (UOC) foi utilizada a equação (4) de Marcolin et al. (2006).

$$Uoc = 0,4167 * argila + 0,358 \quad (4)$$

3.6.5 Densidade Relativa

Para determinação da densidade relativa (DR) (KLEIN, 2006), foram utilizados os dados da densidade máxima do solo e da densidade do solo, determinadas anteriormente. A DR foi calculada a partir da Equação (5):

$$DR = \frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade máxima do solo}} \quad (5)$$

3.6.6 Resistência mecânica à penetração do solo

Após atingir o equilíbrio hídrico em cada potencial as amostras foram pesadas, e no potencial de 300 kPa foi determinada a resistência mecânica do solo à penetração (RP), determinada em laboratório, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi (Figura 5) com velocidade constante de $0,1667 \text{ mm s}^{-1}$, equipado com uma célula de carga de 200 N, e haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30° , receptor e interface acoplado a um microcomputador para coleta dos dados através de um software próprio do equipamento.

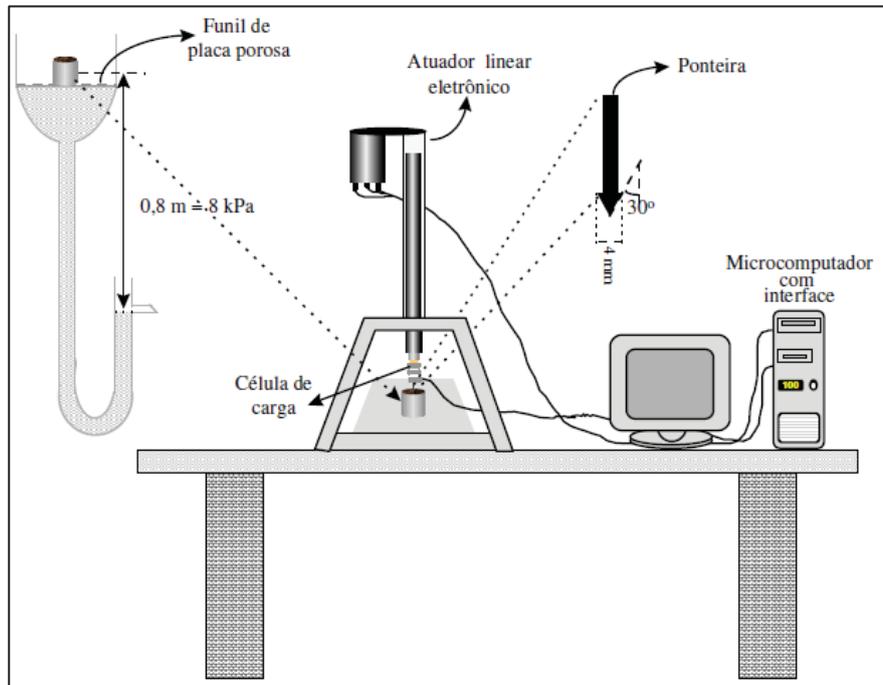


Figura 5 - Esquema do penetrômetro eletrônico utilizado para a determinação da resistência do solo à penetração (KLEIN, 1998).

No centro geométrico de cada amostra foi determinada a RP onde foram obtidos em torno de 250 valores e utilizados cerca de 200 valores centrais.

Após a determinação da RP as amostras foram secas em estufas a $\pm 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h, para determinação da densidade do solo e umidade no solo (θ).

3.6.7 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros

Para determinação da retenção de água as amostras foram devidamente preparadas e saturadas por meio de elevação gradual de

uma lâmina de água em bandejas, e posteriormente foram colocadas nas tensões de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 100 e 300 kPa, para determinação da curva de retenção da água no solo. Para as tensões até 14 kPa utilizou-se funis de placas porosas (Funis de Haynes) e para as tensões superiores foram utilizadas panelas de pressão com placas porosas (Câmaras de Richards). As amostras foram submetidas às tensões até que era atingido o equilíbrio, ou seja, quando o fluxo de água cessasse.

A porosidade total foi determinada pela relação entre densidade do solo e densidade dos sólidos. A classificação dos poros: macroporos, microporos e criptoporos foi realizada aplicando tensões crescentes. Os macroporos (poros com diâmetro maior que 0,05 mm) foram determinados na tensão de 6 kPa (EMBRAPA, 1997), os criptoporos a partir de 1500 kPa (KLEIN, 1998), foram estimados pela equação de Klein et al. (2010) considerando o teor de argila do solo, e os microporos (poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm) foram obtidos pela diferença entre as tensões de 6 e 1500 kPa.

A tensão a 1500 kPa foi estimada pelo teor de argila do solo, através da fórmula $PMP (g g^{-1}) = 0,0003 * argila (g.kg^{-1}) + 0,0118$, proposta por Klein et al. (2010).

3.6.8 Permeabilidade do solo ao ar

Foi determinada a permeabilidade ao ar das amostras de solo com estrutura preservada (Figura 6) utilizando o software desenvolvido por Silveira et al. (2011), por metodologia descrita por

Silva et al. (2009) e sistema de acoplamento de amostras descrito por Klein et al., (2011).



Figura 6 - Dispositivo utilizado na determinação da permeabilidade a ar. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

3.6.9 Agregados do solo estáveis em água

A estabilidade dos agregados em água foi determinada com a utilização de 04 peneiras (Figura 7-A), (4,75mm; 2mm; 1mm; 0,212mm) acondicionadas dentro da água, oscilando verticalmente durante 5 minutos (Figura 7-B) numa frequência de 32 oscilações por minuto, onde somente a ação da água atuará sobre as amostras. Os agregados retidos nas peneiras foram secos em estufa a uma temperatura ± 105 °C, dessa amostra separa-se 25g. Os dados foram utilizados para o cálculo do DMP e DMG para expressar a

distribuição do tamanho dos agregados. Para o cálculo do DMP e DMG, considera-se para a 1ª classe o solo retido na peneira 4,75mm, para a 2ª classe o solo retido na peneira 2mm, para a 3ª classe o solo retido na peneira 1mm, para a 4ª classe o solo retido na peneira 0,212 mm e para a 5ª classe a diferença da soma do solo retido nas peneiras e o total da amostra (25g). Para o cálculo do DMP, DMG e IEA utilizou-se as equações (6), (7) e (8) respectivamente.

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

$$\text{DMG} = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \log \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

$$\text{IEA} = 100 \left(\frac{ms - wp_{21} - \text{areia}}{ms - \text{areia}} \right) \quad (8)$$

onde:

DMP= Diâmetro médio ponderado (mm)

DMG= Diâmetro médio geométrico (mm)

IEA= Índice de estabilidade agregados

w_i= massa de solo seco em cada classe (g)

x_i= diâmetro médio das classes (mm)

ms= massa total da amostra seca (g)

wp₂₁= peso dos agregados <0,21 mm (g)

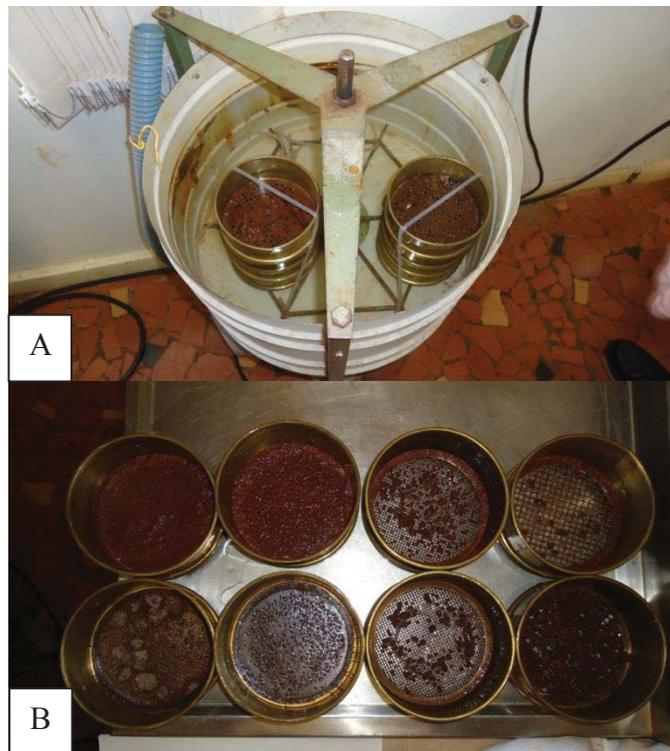


Figura 7 - (A) Dispositivo utilizado para agitação das peneiras. (B) Peneiras utilizadas para determinação da estabilidade dos agregados. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

3.6.10 Consistência do solo

Para determinar o limite plástico das amostras de solo, foram moldados cilindros (rolinhos) com 3 mm de diâmetro até surgirem pequenas fissuras (Figura 8). Estes cilindros foram pesados, secos e pesados novamente, visando encontrar o limite plástico.



Figura 8 - Cilindros moldados manualmente para determinar o limite plástico. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Para determinar o limite líquido foi usado o aparelho Casagrande (Figura 9) colocando-se solo umedecido, espalhado de modo a formar uma camada com aproximadamente 10 mm de altura. Utilizando uma ferramenta em forma de bisel, fez-se uma fenda nessa amostra de solo e aciona-se o dispositivo, contando o número de batidas. Quando as paredes laterais da fenda se tocaram retirou-se uma subamostra para determinar a umidade do solo.



Figura 9 - Aparelho de Casagrande, utilizado para determinar o limite de líquido. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Para o cálculo do índice de plasticidade, utilizou-se a equação (9):

$$IP = 100 (LL - LP) \quad (9)$$

onde:

IP= índice de plasticidade

LL= limite de líquido

LP= limite plástico

3.7 Análise estatística

Os resultados das propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software ASSISTAT versão 7.6 beta (2012), SAS INSTITUTE (1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição granulométrica do solo

A composição granulométrica é uma característica inerente ao solo e possui importância no estudo do comportamento físico-hídrico. Vários fatores físico-hídricos do solo, como a infiltração de água, porosidade total e de aeração, a densidade e a consistência são influenciados por esta composição.

Por meio da análise granulométrica pode-se observar (Tabela 2) que o teor de argila aumenta com o aprofundamento no perfil. Esta variação no teor de argila pode ocorrer por causas naturais como precipitação e infiltração ou causas antrópicas como cita Prado & Centurion (2001), em estudos conduzidos com cana-de-açúcar, destacam a eluviação da argila em profundidade no perfil do solo adubado com dejetos. Este fenômeno não ocorreu neste experimento, pois o teor de argila não diferiu significativamente entre as doses. Não houve interação entre as camadas analisadas e doses aplicadas. Na média das camadas observamos uma redução na camada 0-5 cm.

Este solo pode ser classificado segundo Lemos & Santos (1984) como de textura muito argilosa, pois apresenta teores de argila superiores a 60%, exceto para as doses 96 e 240 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ que apresentaram 59% e 57% de argila, respectivamente na camada superficial.

Pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, no art. 1º da IN °

02/2008, este solo pode ser classificado como *Solo tipo 3*, ou seja, de textura argilosa, com teor de argila maior que $\geq 35\%$.

Tabela 2 - Teor de argila de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	g kg^{-1}						
0-5	623	639	599	618	628	574	614 d
5-10	694	711	700	694	701	680	697 c
10-15	712	725	712	720	724	712	718 bc
15-20	725	738	730	732	735	736	733 ab
20-25	737	741	692	744	749	742	734 ab
25-30	743	756	733	742	758	747	746 a
Média	706 ^{ns}	718	694	708	716	698	

C.V. Doses (%): 5,84

C.V. Camadas (%): 4,15

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Existe uma estreita relação entre a matéria orgânica do solo e a fração mineral do solo, formando complexos organominerais. Solos com maior teor de argila, como é o caso deste solo, tem maior poder de conservação e estabilização da matéria orgânica (SCHNITZER, 1986).

A matéria orgânica adicionada pelos DLS poderia incrementar a agregação (microagregação) dificultando a dispersão e mascarando a análise granulométrica, o que não ocorreu, comprovando a eficiência da metodologia utilizada. A aplicação das diferentes doses de DLS não alterou a textura deste solo.

Para a fração areia não houve interação entre as doses e camadas analisadas. Não ocorreu diferença significativa para as diferentes doses, na média das camadas observa-se uma redução com

o aumento da profundidade (Tabela 3). Este aumento de areia na camada 0-5 cm é ocasionado pela redução no teor de argila, acarretando aumento proporcional desta fração.

Tabela 3 - Teor de areia de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	g kg^{-1}						
0-5	117	107	125	123	110	133	119 a
5-10	77	71	74	80	73	78	76 b
10-15	69	67	68	68	63	67	67 bc
15-20	65	67	59	62	59	58	61 cd
20-25	62	65	47	62	55	56	58 cd
25-30	54	57	53	59	51	56	55 d
Média	74 ^{ns}	72	71	76	69	75	
C.V. Doses (%): 16,24			C.V. Camadas (%): 13,86				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Para a fração silte não houve interação entre as doses e camadas, não ocorreu diferença significativa para as diferentes doses utilizadas, na média das camadas analisadas observa-se um aumento no teor de silte na camada 0-5 cm (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de silte de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	g kg ⁻¹						
0-5	258	253	274	258	260	291	266 a
5-10	227	216	225	224	225	240	226 b
10-15	217	207	218	210	211	220	214 bc
15-20	208	194	210	205	204	205	204 bc
20-25	199	193	260	192	194	200	206 bc
25-30	201	186	212	198	189	196	197 c
Média	219 ^{ns}	208	233	215	214	225	
C.V. Doses (%): 17,23			C.V. Camadas (%): 11,27				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.2 Matéria orgânica do solo

Os resultados dos teores de matéria orgânica (Tabela 5) não apresentaram diferença significativa entre as doses. Na média das camadas analisadas observa-se um decréscimo do teor em função da profundidade, como era de se esperar.

Houve interação entre doses e camadas, pode-se observar que em todas as doses o teor de MO do solo foi superior na camada 0-5 cm, reduzindo com a profundidade.

Tabela 5 - Teor de matéria orgânica (Rotina) de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	kg Mg^{-1}						
0-5	47,1 bA	49,4bA	51,8abA	53,0abA	51,6abA	58,1aA	51,8 a
5-10	35,8aB	36,8aB	36,1aB	37,3aB	39,2aB	39,2aB	37,4 b
10-15	33,9aBC	33,3aBC	31,8aBC	33,6aBC	32,4aC	33,9aBC	33,1 c
15-20	31,8aBC	31,8aBC	30,9aBC	30,2aC	29,5aCD	32,2aCD	31,1 cd
20-25	29,0aC	30,3aC	29,2aC	28,7aC	27,0aCD	29,2aCD	28,9 de
25-30	28,6aC	29,2aC	28,4aC	28,0aC	24,8aD	26,6aD	27,6 e
Média	34,4 ^{ns}	35,1	34,7	35,1	34,1	36,5	

C.V. Doses (%): 18,40

C.V. Camadas (%): 9,32

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 6 os teores de matéria orgânica do solo estão expressos considerando a densidade do solo no campo. Os valores de matéria orgânica foram multiplicados pela Ds e expressos em kg m^{-3} , procurando aproximar o resultado às condições do solo no campo. Os resultados dos teores de matéria orgânica ajustados com a densidade também não apresentaram interação entre doses e camadas e diferença entre as doses. Na média das camadas, observa-se um decréscimo do teor em função da profundidade.

Tabela 6 - Teor de matéria orgânica (MOxDs) de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	kg m^{-3}						
0-5	48,6	50,6	51,8	56,4	54,8	51,4	53,3 a
5-10	38,9	41,7	42,3	40,6	43,8	44,2	41,9 b
10-15	39,5	36,1	35,5	38,0	37,7	38,1	37,5 c
15-20	35,9	34,0	34,9	33,6	32,8	35,9	34,5 d
20-25	32,9	35,7	32,6	30,5	31,8	33,8	32,7 de
25-30	31,1	33,6	31,1	29,6	28,1	30,3	30,6 e
Média	37,8 ^{ns}	38,6	38,0	38,1	38,0	40,0	

C.V. Doses (%): 17,45

C.V. Camadas (%): 10,17

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

O aumento do teor de matéria orgânica da camada de 0-5 cm e a diminuição conforme a profundidade aumenta, é uma característica inerente aos solos, pelo maior aporte de material orgânico na camada superficial, devido à presença dos restos culturais da vegetação e do sistema radicial das plantas. As diferentes doses não aumentaram o teor de matéria orgânica do solo, devido ao baixo teor de matéria seca presente no dejetos líquido suíno aplicado. A média de MS verificada nos dejetos aplicados foi de 1,72%, valor muito abaixo do padrão de 6% apresentado por um dejetos líquido com boa qualidade fertilizante sugerido por (SCHERER, 1996).

Estes dados discordam de Barilli (2005), que observou aumento no teor de MO até 8 cm, após a aplicação de dejetos líquido de suíno com 9100 mg L^{-1} de matéria seca, independente do tempo de aplicação. Discordam também de Lourenzi (2010), que constatou aumento no teor de matéria orgânica do solo em 30, 36 e 74% até 60

cm, com aplicação de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos suínos, respectivamente. É oportuno salientar que os dejetos utilizados no estudo de Lourenzi (2010) apresentaram em média 4,54% de matéria seca.

Os resultados do presente estudo concordam com os resultados obtidos por Ceretta et al. (2003), Arruda (2007), Assmann et al. (2007), Scherer et al. (2007), Caovilla et al. (2010), Scherer et al. (2010) onde a aplicação de dejetos suínos não aumentou os teores de MO. Este fato é explicado em razão do baixo teor de matéria seca dos dejetos líquidos de suínos utilizados no experimento e da fácil mineralização deste tipo de material. Segundo Scherer et al. (1996), os dejetos de suínos da região oeste catarinense apresentam em média 3% de matéria seca, o que, numa dose média de 45 m³ ha⁻¹, representa uma adição anual máxima de 1,3 Mg ha de MO.

Andrade (2013) também não constatou aumento no teor de carbono no solo com aplicação de dejetos suínos e esterco de aves ao longo de vários anos de aplicação.

Outro ponto a ser destacado é a exportação de massa seca da grama missioneira ocasionada pelos cortes realizados para avaliação da produção de MS em estudo desenvolvido por Miranda (2010).

A condição da testemunha (dose 0) possuía elevados teores de matéria orgânica, o que torna mais difícil a sua elevação. Em solos degradados a aplicação de dejetos promove um incremento nos teores de matéria orgânica que pode ser observado mais rapidamente (LEIROS et al., 1996; LIMA, 2007; COSTA et al., 2009).

4.3 Argila dispersa em água e índice de floculação

A argila dispersa em água (ADA) não foi influenciada pelas doses aplicadas. Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas. Na média das camadas percebe-se aumento na quantidade da ADA com o aumento da profundidade devido à redução no teor de MO (Tabela 7).

Tabela 7 - Argila dispersa em água de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)					Média	
	0	48	96	144	192		240
				%			
0-5	34,3	36,8	33,4	36,7	32,1	31,4	34,1 c
5-10	42,3	43,5	42,7	43,1	41,4	42,1	42,5 b
10-15	45,4	46,1	45,0	45,6	45,2	45,9	45,5 a
15-20	46,2	43,6	46,4	46,2	45,8	47,3	45,9 a
20-25	46,2	44,0	45,8	46,5	47,2	49,0	46,5 a
25-30	45,8	45,3	46,8	46,8	47,6	48,5	46,8 a
Média	43,4 ^{ns}	43,2	43,4	44,2	43,2	44,1	

C.V. Doses (%): 13,86

C.V. Camadas (%): 6,67

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Estes resultados concordam com os obtidos por Araújo et al. (2004), que observaram menor teor de ADA nas camadas superficiais e aumento gradativo em profundidade, para quatro diferentes manejos estudados e por Pelá et al. (2004), que analisando a agregação de um Latossolo Vermelho, em função da adubação orgânica e mineral, observaram na média dos tratamentos uma tendência de aumento de ADA com o aumento da profundidade.

Concordam também com Andreola et al. (2000), em experimento com aplicação de 5.312 kg ha^{-1} de esterco de aves, em Terra Roxa estruturada, que não observaram efeito nos teores de ADA após três anos de experimento.

Os resultados obtidos neste estudo discordam de Alleoni & Camargo (1994), pois estes afirmam que a ADA tende a diminuir com o aumento da profundidade do solo. Discordam também de Lima (2007) e Costa et al. (2009), que observaram decréscimo no teor de ADA com aumento das doses de DLS e cama de frango, respectivamente. Erthal et al. (2010) verificaram dispersão de 40% da argila na camada 0-10 cm influenciada pela aplicação de água residuárias de bovinos, o que também não foi constatado neste experimento.

Já Homem et al. (2012), analisando a ocorrência de dispersão de argila pela aplicação de águas residuárias de criatórios de bovinos, suínos e coelhos, observaram no 1º experimento 61% de dispersão e 48% no segundo experimento. Os autores afirmam que as águas residuárias utilizadas apresentavam concentrações elevadas de sódio e podem ter ocasionado a dispersão da argila.

A dispersão da argila no solo é resultante de uma instabilidade estrutural ou problemas de manejo, assim esta redução na camada superficial pode ser considerada como um efeito benéfico e associada à contribuição da matéria orgânica na disponibilização de cargas elétricas. Como a quantidade de MS nos dejetos aplicados foi pequena 1,72%, esta redução na camada superficial pode estar associada à melhoria da fertilidade do solo, proporcionando além do melhor desenvolvimento de raízes, maior atividade biológica e,

consequentemente, aumento da agregação das partículas, como pode ser evidenciado pelo maior grau de floculação na camada 0-5 cm (Tabela 8).

A floculação é o primeiro passo para a formação e estabilização dos agregados. O índice de floculação não foi influenciado pelas doses de dejetos aplicados, observa-se na camada 0-5 cm um aumento do IF quando comparado às demais profundidades (Tabela 8). Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas.

Tabela 8 - Índice de floculação de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	%						
0-5	44,8	42,3	43,9	40,3	48,9	45,2	44,2 a
5-10	39,0	38,8	38,8	37,7	40,9	38,1	38,9 b
10-15	36,2	36,3	36,6	36,4	37,6	35,4	36,4 b
15-20	36,2	41,0	36,3	36,7	37,6	35,7	37,2 b
20-25	37,3	40,5	37,3	37,5	36,9	33,9	37,2 b
25-30	38,6	40,0	36,2	36,9	37,2	35,0	37,3 b
Média	38,7 ^{ns}	39,8	38,2	37,6	39,8	37,2	
C.V. Doses (%): 21,50			C.V. Camadas (%): 10,42				

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Maior IF na camada superficial está relacionado ao maior teor de matéria orgânica. Estes resultados concordam com SILVA et al., (2000b). Segundo os autores a matéria orgânica age como condicionador do solo mediante sua complexa e longa cadeia de carbono agregando partículas minerais.

A redução no IF em profundidade também foi observada por Veiga et al. (2012), que estudaram o efeito de dois períodos de aplicação de dejetos líquidos suíno em área de pastagem e lavoura, segundo os autores o teor de matéria orgânica correlaciona-se negativamente com o IF.

A relação entre a matéria orgânica e o índice de floculação se confirma na Figura 10, a qual mostra que, é possível estabelecer uma relação entre o IF e a MO do solo.

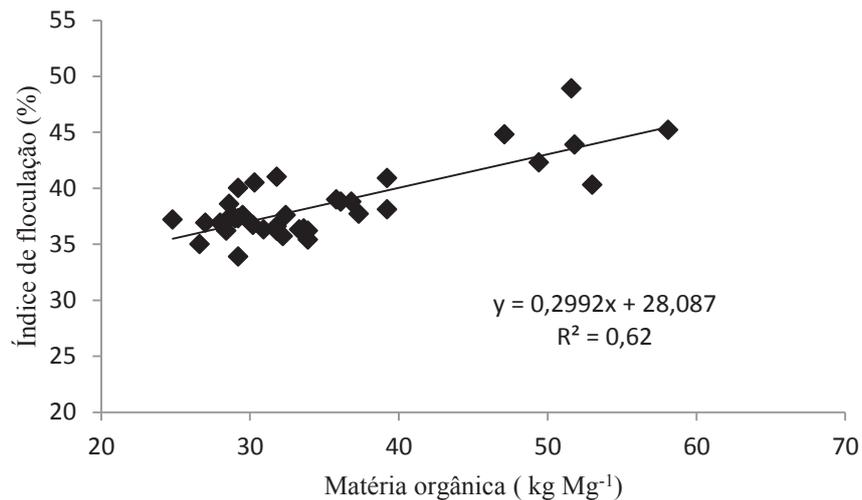


Figura 10- Influência da matéria orgânica no índice de floculação

Segundo Tavares Filho et al. (2010), existem duas possibilidades para diminuir o grau de floculação de um solo. O primeiro seria o revolvimento do solo, com ação mecânica sobre os agregados, a argila ficará livre no meio. O segundo caso está relacionado com a quantidade de argila presente no solo, que interfere diretamente com a oxidação da matéria orgânica.

A presença do material orgânico nos dejetos, apesar da disponibilização de nutrientes no solo serem gradativamente lenta em relação ao adubo sintético, promove maior contribuição, devido à liberação de agentes cimentantes e o fornecimento de nutrientes para os microorganismos do solo, que por sua vez, contribuem para a agregação e estabilização das partículas do solo, aumentando o grau de floculação das argilas e reduzindo os teores de argila dispersa em água.

4.4 Densidade do solo e Densidade dos sólidos do solo

A densidade do solo (Ds) não foi influenciada pelas doses. Na média das camadas analisadas percebe-se redução da Ds na camada 0-5 cm. Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas (Tabela 9).

Tabela 9 - Densidade do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	Mg m^{-3}						
0-5	1,03	1,02	1,00	1,06	1,06	0,99	1,03 b
5-10	1,09	1,13	1,17	1,08	1,12	1,12	1,12 a
10-15	1,17	1,09	1,11	1,13	1,17	1,12	1,13 a
15-20	1,13	1,07	1,13	1,11	1,10	1,11	1,11 a
20-25	1,15	1,18	1,12	1,06	1,14	1,15	1,13 a
25-30	1,09	1,15	1,10	1,06	1,13	1,13	1,11 a
Média	1,11 ^{ns}	1,11	1,10	1,08	1,12	1,11	
C.V. Doses (%): 8,14			C.V. Camadas (%): 6,38				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Estes resultados concordam com estudos realizados por Dortzbach et al. (2009), Arruda (2007) e Lima (2007), que não observaram influência da aplicação de DLS sobre a densidade do solo. Porém, difere do estudo realizado por Seganfredo (1998), que constatou a influência da aplicação de DLS na redução da densidade do solo.

Os valores encontrados, em todas as camadas, para a D_s podem estar associados à contribuição do dejetos líquido para o desenvolvimento radicular da grama missioneira, agregando matéria orgânica e proporcionando maior atividade biológica, estas condições resultam numa melhor estruturação do solo e, conseqüentemente, reduzem a densidade e aumentam a porosidade total do solo. Outro fator que pode ter contribuído para os baixos valores da D_s (1,03 a 1,13 $Mg\ m^{-3}$) foi a uniformização da área antes da implantação do experimento, consistindo de aração e gradagem, e último pastoreio realizado por animais em 2005.

Conforme Costa et al., (2003), a densidade tende a aumentar com a profundidade o que se deve a fatores tais como: teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, menor penetração de raízes, maior compactação ocasionada pelo peso das camadas sobrejacentes e diminuição da porosidade total.

Os valores para a densidade dos sólidos do solo não apresentaram diferença significativa para as diferentes doses utilizadas. Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas (Tabela 10). Na média das camadas, observa-se redução nas camadas superficiais, fato este justificado pelo maior teor de matéria orgânica, acima de 4%. A DSS da matéria orgânica varia de

0,6 a 1,0 g cm³ (KIEHL, 1979), conseqüentemente a presença de matéria orgânica do solo faz baixar a DSS. Neste estudo, os valores observados ficaram próximo ao valor utilizado como referência para os solos brasileiros que é de 2,65 g cm³.

Tabela 10- Densidade dos sólidos do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	Mg m ⁻³						
0-5	2,59	2,63	2,57	2,68	2,71	2,57	2,63 b
5-10	2,65	2,63	2,69	2,74	2,70	2,68	2,68 ab
10-15	2,66	2,70	2,68	2,73	2,72	2,70	2,70 a
15-20	2,65	2,73	2,75	2,75	2,71	2,66	2,71 a
20-25	2,72	2,74	2,69	2,75	2,66	2,68	2,70 a
25-30	2,69	2,67	2,83	2,73	2,67	2,68	2,71 a
Média	2,66 ^{ns}	2,68	2,70	2,73	2,70	2,66	
C.V. Doses (%): 4,71			C.V. Camadas (%): 3,32				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.5 Densidade máxima do solo

Os valores para a densidade máxima do solo (Dsmax) não apresentaram interação entre doses e camadas e não foram influenciados pelas doses aplicadas. Na média das camadas observa-se que a Dsmax é maior na camada 0-5 cm. (Tabela 11).

Tabela 11 - Densidade máxima do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
0-5	1,40	1,38	1,41	1,39	1,39	1,41	1,40 a
5-10	1,38	1,37	1,38	1,38	1,37	1,38	1,38 b
10-15	1,38	1,37	1,38	1,37	1,37	1,38	1,37 b
15-20	1,37	1,36	1,37	1,37	1,37	1,36	1,37 b
20-25	1,37	1,37	1,41	1,37	1,37	1,37	1,38 b
25-30	1,37	1,36	1,38	1,37	1,37	1,37	1,37 b
Média	1,38AB	1,37 B	1,39 A	1,38AB	1,37 B	1,38AB	
C.V. Doses (%): 1,62			C.V. Camadas (%): 1,60				

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os maiores valores de D_{max} da camada 0-5 cm são ocasionados pelo menor teor de argila, mesmo com maior teor de matéria orgânica. Talvez haja a necessidade de uma equação específica para avaliar a D_{max} para a camada 0-5 cm, em função das características muito distintas das demais camadas do perfil, embora a equação de Marcolin & Klein (2011) tenha sido obtida com amostras de camadas de 0 a 30 cm de Latossolos, mesmo solo deste experimento.

4.6 Densidade relativa

Os valores para a densidade relativa não apresentaram interação entre doses e camadas. As doses não influenciaram na DR e na média das camadas observa-se redução na camada 0-5 cm (Tabela 12).

Tabela 12 - Densidade relativa de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)						Média
	0	48	96	144	192	240	
0-5	0,73	0,73	0,70	0,76	0,76	0,70	0,73 b
5-10	0,78	0,82	0,84	0,78	0,81	0,81	0,81 a
10-15	0,84	0,79	0,80	0,82	0,84	0,81	0,82 a
15-20	0,82	0,78	0,82	0,80	0,80	0,81	0,80 a
20-25	0,83	0,86	0,79	0,77	0,83	0,84	0,82 a
25-30	0,79	0,84	0,79	0,76	0,82	0,82	0,80 a
Média	0,80 ^{ns}	0,80	0,79	0,78	0,81	0,80	
C.V. Doses (%): 7,34			C.V. Camadas (%): 6,46				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Os valores obtidos de DR não são considerados impeditivos ao desenvolvimento das culturas. Conforme Reinert et al. (2008), valores de DR de 0,80 a 0,90 não são indicativos de solos compactados e valores de DR < 0,80 são considerados um indicativo de solo solto com alta porosidade de aeração (BEUTLER et al., 2005), o que ocorreu na camada de 0-5 cm. Os valores de DR são semelhantes aos obtidos por Viana et al. (2011), em área de pastagem. Para Lipiec et al. (1991), que realizaram experimentos com cevada em um solo com 0,60 kg kg⁻¹ de argila, o crescimento das plantas é reduzido quando a DR excede 0,91, valor superior ao encontrado neste solo.

4.7 Resistência mecânica à penetração

As doses crescentes de dejetos líquidos suínos não influenciaram a resistência mecânica à penetração (Tabela 13), determinada na condição na qual as amostras se encontravam em equilíbrio na tensão de 300 kPa, com a umidade apresentada na Tabela 14. Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas.

Nesta condição, na média das camadas, percebe-se menor RP na camada 0-5 cm, explicada pela menor densidade, maior macroporosidade e pelo maior teor de matéria orgânica, que apresenta propriedade cimentante.

Tabela 13 - Resistência a penetração de camadas de um Latossolo Vermelho distroférrico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	MPa						
0-5	2,12	2,00	1,85	2,78	2,17	1,89	2,13 c
5-10	2,63	2,75	3,12	3,16	3,09	2,41	2,86 a
10-15	2,99	3,24	2,62	2,70	3,18	2,94	2,95 a
15-20	2,38	3,01	2,56	2,34	2,92	3,07	2,71 ab
20-25	2,66	3,42	2,24	2,05	2,78	2,68	2,64 ab
25-30	2,04	2,41	2,60	1,95	2,39	2,45	2,31 bc
Média	2,47 ^{ns}	2,81	2,50	2,50	2,75	2,57	
C.V. Doses (%): 25,83				C.V. Camadas (%): 24,51			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Analisando os valores obtidos para RP estes são considerados altos, de acordo com a classificação proposta por Arshad

et al. (1996), causado efeitos restritivos ao crescimento do sistema radicial das plantas, como destacado por alguns pesquisadores, que afirmam que a RP limitante ao crescimento radicial é de 2 MPa (TORMENA et al., 1998; BEUTLER et al., 2006), enquanto que Grant & Lafond (1993) afirmam que a faixa restritiva está entre 1,5 e 3,0 MPa. Porém, a RP foi medida com umidade na tensão de 300 kPa, umidade inferior a da CC. Sabe-se que a intensidade da RP depende da densidade do solo e da umidade do solo no momento da determinação, pois com o aumento no teor de água decresce a atuação de forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando então, a diminuição na RP.

Modelos matemáticos podem ser aplicados visando obter a RP em função da D_s e umidade do solo. Porém neste trabalho obteve-se uma variação muito baixa da umidade entre as amostras o que não permitiu um ajuste satisfatório ao modelo de Busscher (1990).

Tabela 14 Umidade volumétrica das amostras de solo na tensão de 300 kPa condição na qual foi determinada a RP de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
				$\text{m}^3 \text{m}^3$			
0-5	0,36	0,37	0,37	0,37	0,35	0,35	0,36 c
5-10	0,35	0,36	0,38	0,35	0,36	0,36	0,36 c
10-15	0,37	0,35	0,36	0,37	0,36	0,36	0,37 bc
15-20	0,39	0,35	0,37	0,39	0,36	0,37	0,37 bc
20-25	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,38	0,39 a
25-30	0,39	0,36	0,37	0,40	0,38	0,38	0,38 ab
Média	0,38 ^{ns}	0,36	0,38	0,38	0,37	0,37	

C.V. Doses (%): 7,95

C.V. Camadas (%): 5,80

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

De qualquer forma, esta umidade já é bem inferior aquela da capacidade de campo (Tabela 15), indicando o quanto de água poderia ser extraída do solo até que alguma limitação mecânica ao sistema radicial das plantas ocorresse.

Tabela 15 Umidade volumétrica na condição de capacidade de campo (6 kPa) de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
				$\text{m}^3 \text{m}^3$			
0-5	0,48	0,47	0,48	0,47	0,45	0,45	0,47 ab
5-10	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,44	0,45 b
10-15	0,46	0,44	0,44	0,45	0,46	0,46	0,45 ab
15-20	0,49	0,44	0,46	0,48	0,46	0,44	0,46 ab
20-25	0,48	0,47	0,48	0,48	0,47	0,46	0,47 a
25-30	0,48	0,44	0,46	0,48	0,47	0,45	0,46 ab
Média	0,48 ^{ns}	0,45	0,47	0,47	0,46	0,45	
C.V. Doses (%): 9,06			C.V. Camadas (%): 6,17				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Este resultado concorda com estudo realizado por Lima (2007), que constatou a não influência da aplicação de DLS na resistência mecânica à penetração. Também concorda com Moura et al. (2012) em que aplicação de dejetos suíno não influenciou a RP, os valores se mantiveram semelhantes nos tratamentos com aplicação e na testemunha dose (0). Concorda com Gonçalves Júnior et al. (2009), em que a aplicação de DLS não interferiu na RP da cultura da cana-de-açúcar.

É importante destacar que em densidade do solo baixa, o efeito da umidade é pequeno; ao contrário, quando aumenta a densidade pequenas variações de umidade acarretam grande incremento na resistência mecânica do solo à penetração (Klein, 2012).

4.8 Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros do solo

A porosidade total do solo também não foi influenciada pelas doses e camadas. Os valores da porosidade total são considerados altos, variando de 0,58 a 0,60 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na média das doses e camadas (Tabela 16). Não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas.

Tabela 16- Porosidade do solo de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas Cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0-5	0,60	0,61	0,61	0,60	0,60	0,61	0,60 ^{ns}
5-10	0,58	0,56	0,56	0,60	0,58	0,57	0,58
10-15	0,56	0,59	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58
15-20	0,57	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58
20-25	0,57	0,57	0,58	0,61	0,56	0,56	0,58
25-30	0,59	0,56	0,60	0,61	0,57	0,57	0,58
Média	0,58 ^{ns}	0,58	0,59	0,60	0,58	0,58	
C.V. Doses (%): 6,75			C.V. Camadas (%): 4,92				

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Em todas as doses e camadas a porosidade total foi superior a 50%, valor considerado ideal para o desenvolvimento das plantas. Na média das doses e camadas não houve aumento na porosidade total com adição de DLS, concordando com Barilli (2005),

que não observou aumento na porosidade total com aplicação de DLS independente do período analisado e discorda de Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993) que observaram aumento na porosidade total do solo após a aplicação de resíduos suínos e Hati et al. (2006), que observaram aumento da porosidade total quando aplicada adubação mineral mais dejetos de curral.

Discordam também dos resultados do estudo realizado por Assmann et al. (2006), que avaliaram os efeitos de dois anos da aplicação de diferentes doses de dejetos líquido suíno nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho aluminoférrico, cultivado com a sucessão aveia+azevém/milho e aveia+azevém/soja, totalizando seis aplicações de dejetos. A média de matéria seca presente nos dejetos no primeiro ano de aplicação foi de 3,98% e no segundo ano 5,49%. Os autores constataram incrementos na porosidade total da camada superficial para doses de até 80 m³ ha⁻¹ e salientam para os efeitos benéficos da aplicação de dejetos líquido de suíno já na primeira avaliação realizada pelos mesmos. Porém é oportuno salientar que o teor de matéria seca nos dejetos utilizados no trabalho de Assmann et al. (2006), foi superior ao utilizado neste estudo que foi de 1,72%.

Destaca-se que num solo com estrutura degradada, efetivamente a aplicação de pequenas doses de resíduo orgânico pode promover significativos incrementos da qualidade física com alterações na porosidade e distribuição do diâmetro dos poros, situação distinta do solo deste experimento que se encontrava com boa qualidade física.

A porosidade total é dependente da D_s e da DSS. Na (Figura 11) está apresentada a dependência da porosidade total em

relação a densidade do solo, demonstrando a eficiência das metodologias de determinação da Ds e DSS utilizadas.

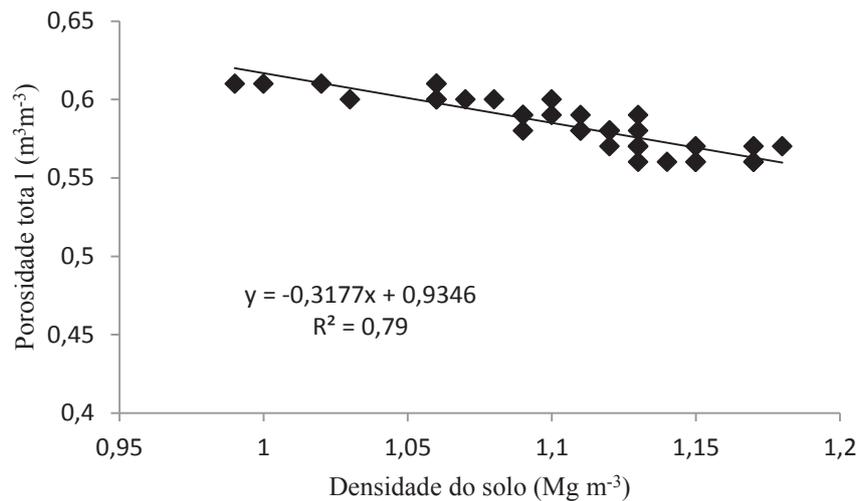


Figura 11 - Porosidade total em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

A macroporosidade não foi influenciada pelas doses aplicadas e camadas analisadas, e não houve interação entre doses e camadas. Um ponto a ser destacado é a grande variação dos valores de macroporosidade observado pelo alto C.V. (Tabela 17), indicando a elevada variabilidade espacial desse atributo no solo em função da presença de bioporos e espaços vazios que aumentam significativamente o coeficiente de variação.

Tabela 17 - Volume de macroporos de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
				$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$			
0-5	0,118	0,136	0,126	0,126	0,149	0,158	0,135 ^{ns}
5-10	0,124	0,109	0,093	0,149	0,133	0,131	0,123
10-15	0,091	0,152	0,134	0,128	0,103	0,117	0,121
15-20	0,080	0,166	0,124	0,115	0,128	0,130	0,124
20-25	0,087	0,090	0,094	0,128	0,098	0,103	0,100
25-30	0,108	0,122	0,145	0,126	0,106	0,118	0,121
Média	0,101 ^{ns}	0,129	0,119	0,129	0,120	0,126	
C.V. Doses (%): 52,84				C.V. Camadas (%): 35,08			

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Considerando que os macroporos são a rota principal de movimento da água e ar no solo, observa-se que os valores observados estão acima do nível crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ estabelecidos por Baver et al., (1972), Reynolds et al., (2002), Reichert et al., (2003). Os valores obtidos para a macroporosidade discordam de Barilli (2005), Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993), que observaram aumento da macroporosidade trabalhando com dejetos suíno. Discordam também de Seganfredo (1998), que constatou aumento na macroporosidade, após o terceiro ano de aplicação de DLS, e de Arruda et al. (2010), que concluíram que a distribuição de tamanhos de poros não foi influenciada pela aplicação de doses crescentes de DLS, o volume de macroporos variou de 0,12 a $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na média das camadas, volumes estes, semelhantes aos verificados neste estudo.

A microporosidade não foi influenciada pelas doses e não houve interação entre doses e camadas. Na média das camadas, o volume de microporos é maior na camada 0-5 cm e na testemunha que não recebeu DLS, tendo maior amplitude que a macroporosidade (Tabela 18).

Tabela 18 - Volume de microporos de camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0-5	0,277	0,265	0,294	0,266	0,243	0,268	0,269 a
5-10	0,221	0,203	0,209	0,216	0,203	0,203	0,209 b
10-15	0,204	0,192	0,199	0,200	0,199	0,211	0,201 b
15-20	0,229	0,190	0,205	0,223	0,206	0,190	0,207 b
20-25	0,221	0,203	0,241	0,233	0,199	0,194	0,215 b
25-30	0,228	0,172	0,208	0,238	0,200	0,188	0,206 b
Média	0,230 ^{ns}	0,204	0,226	0,229	0,208	0,209	

C.V. Doses (%): 19,6

C.V. Camadas (%): 15,14

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Este resultado concorda com o estudo realizado por Jorge et al. (1991), que não encontraram diferença na microporosidade após quatro anos de aplicação de lodo de esgoto e difere do trabalho realizado por Seganfredo (1998), onde após três anos de aplicação de DLS constatou diminuição na microporosidade do solo.

Em virtude do tamanho reduzido dos microporos, a água circula lentamente pela ação das forças capilares, sendo responsáveis pela retenção e distribuição da água no solo. A água armazenada nos microporos está acima da capacidade de armazenamento sugerido por

Reynolds et al. (2002), que situa-se entre 0,15 a 0,20 m³ m⁻³, isso deve-se a excelente qualidade estrutural deste solo. O teor de água disponível também é superior ao encontrado por Costa et al. (2010), que avaliou 438 amostras de solos de Santa Catarina utilizando pedofunções para estimar a disponibilidade de água no solo, para solos com textura semelhante a este estudo (muito-argilosa) o teor de AD variou de 0,04 a 0,17 m³m⁻³. Os autores observaram grande amplitude em cada classe textural.

A lâmina de água disponível armazenada entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) multiplicada pela camada do solo (z), não foi influenciada pelas doses e não houve interação entre as doses utilizadas e camadas analisadas. Na média das camadas percebe-se uma lâmina maior de água disponível acumulada na camada de 0-5 cm, em função da melhor estrutura e do maior teor de MO (Tabela 19).

Tabela 19 - Lâmina de água disponível em camadas de um Latossolo Vermelho distroférrico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(mm)						
0-5	13,85	13,26	14,70	13,30	12,19	13,44	13,46 a
5-10	11,05	10,17	10,45	10,82	10,18	10,14	10,47 b
10-15	10,24	9,62	9,95	10,03	9,96	10,58	10,06 b
15-20	11,45	9,52	10,27	11,17	10,30	9,50	10,37 b
20-25	11,08	10,17	12,09	11,68	9,97	9,71	10,78 b
25-30	11,42	8,63	10,42	11,92	10,01	9,42	10,30 b
Média	11,52 ^{ns}	10,23	11,31	11,49	10,43	10,46	
C.V. Doses (%): 19,63			C.V. Camadas (%): 15,14				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Considerando que, geralmente, a quantidade de água no solo não ultrapassa 2 mm por cm de profundidade, observa-se que neste solo a lâmina de água é superior a este valor, como por exemplo na média da camada 0-5 cm a quantidade de AD na lâmina é de 2,69 mm/cm. Nas demais camadas a quantidade de AD é de aproximadamente 2 mm/cm. Esta disponibilidade de água pode ser explicada através da estrutura deste solo que mantém a funcionalidade do sistema poroso até a camada 25-30 cm, pelo teor de MO e argila, elevado volume de microporos que armazenam esta água, e pelo sistema radicial das gramíneas que beneficiam a qualidade física deste solo.

Relacionando a lâmina de água disponível com o teor de argila deste solo obteve-se um (R^2 de 0,65). Este tipo de solo com teores de argila superiores a 600 g kg^{-1} apresenta alta capacidade de retenção de água indisponível devido a maior força de coesão entre as partículas (Figura 12).

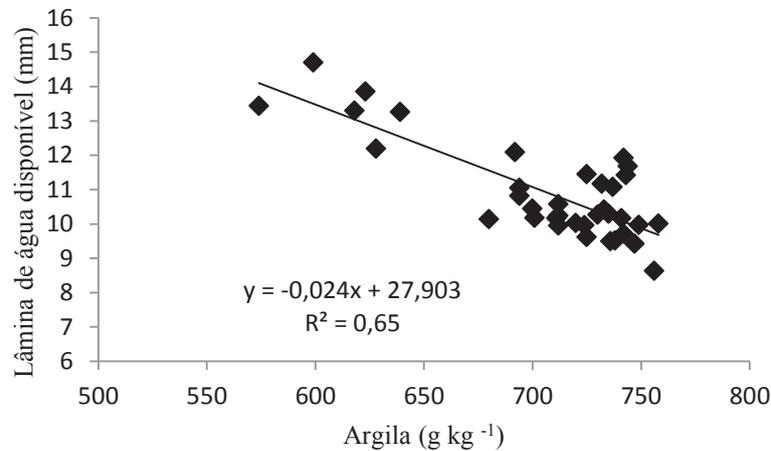


Figura 12- Lâmina de água disponível em função do teor de argila em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos.

O volume de criptoporos não apresentou interação entre doses e camadas e diferença significativa entre as doses. Na média das camadas observa-se que o volume de criptoporos é menor na camada 0-5 cm, variando de $0,202 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 0-5 cm a $0,262 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 25-30 cm (Tabela 20).

A água armazenada não está em mesma proporção da água efetivamente disponível as plantas. Isso se dá em função da proporção de poros do solo, onde os poros de menor diâmetro retêm a água a tensões superiores à capacidade de extração pelas plantas.

Tabela 20 - Volume de criptoporos em camadas de um Latossolo Vermelho distroférrico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0-5	0,206	0,209	0,191	0,210	0,214	0,184	0,202 b
5-10	0,241	0,256	0,260	0,238	0,248	0,244	0,248 a
10-15	0,264	0,250	0,250	0,258	0,268	0,254	0,257 a
15-20	0,261	0,250	0,260	0,256	0,257	0,259	0,257 a
20-25	0,268	0,275	0,245	0,250	0,270	0,271	0,263 a
25-30	0,257	0,274	0,255	0,248	0,270	0,268	0,262 a
Média	0,249 ^{ns}	0,252	0,243	0,243	0,254	0,247	

C.V. Doses (%): 8,22

C.V. Camadas (%): 7,48

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Considerando que os criptoporos são os poros com diâmetro inferior a 0,0002 mm, pode-se observar que na camada de 0-5 cm aproximadamente 43% da água retida no solo está indisponível às plantas, enquanto na camada 25-30 cm este valor chega a 57% (Tabela 20), característica esta, de solos argilosos, em função da presença dos microagregados que armazenam água em seu interior tornando-a indisponível.

4.9 Permeabilidade do solo ao ar

O sistema poroso do solo não pode ser avaliado somente por seu volume ou distribuição do tamanho dos poros, mas também por sua capacidade de conduzir água e gases. A permeabilidade do solo ao ar não apresentou interação entre doses e camadas e diferença significativa para as doses. Na média das camadas, observa-se que a

permeabilidade ao ar é maior na camada 0-5 cm, variando de 625,3 μm^2 nesta camada a 222,0 μm^2 na camada de 25-30 cm (Tabela 21). As diferentes doses de dejetos aplicadas não afetaram a continuidade dos poros.

Tabela 21- Permeabilidade do solo ao ar em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	μm^2						
0-5	625,7	750,0	708,6	574,1	489,4	604,2	625,3 a
5-10	279,9	128,1	206,3	334,3	156,4	236,8	223,6 b
10-15	302,7	172,9	141,0	229,7	159,2	353,1	226,4 b
15-20	205,4	309,6	243,7	265,2	239,5	260,6	254,0 b
20-25	267,8	202,1	198,7	179,4	177,9	195,2	203,5 b
25-30	234,9	160,4	333,9	226,3	152,1	224,6	222,0 b
Média	319,4 ^{ns}	287,2	305,4	301,5	229,1	312,4	
C.V. Doses (%): 80,70			C.V. Camadas (%): 65,22				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Os valores de K_a encontrados na camada 0-5 cm devem-se a qualidade estrutural deste solo e a presença de maior número de canais condutores. A redução da K_a com o aumento da profundidade deve-se a redução da quantidade de poros maiores e da continuidade de poros no solo.

Sequinatto (2010) mediu a permeabilidade do solo ao ar em diferentes tensões, visando avaliar a influência do tráfego de máquinas sobre o fluxo de ar no solo, e encontrou valores inferiores para K_a no solo não trafegado.

Para Silva et al. (2009), a permeabilidade é dependente do conteúdo de água e da densidade, pois estes, influenciam diretamente

a geometria e continuidade do sistema poroso do solo. A diminuição da umidade do solo aumenta a passagem de ar pela amostra e a conectividade dos poros pode afetar também de forma significativa esta variável.

Os valores do C.V. muito altos podem ser atribuídos ao fato da avaliação tratar-se do espaço poroso do solo, e pequenas alterações no transporte e processamento das amostras podem alterar a determinação. Outro fator são os espaços vazios ocasionados pelo apodrecimento de raízes, poros interligados e a presença de bioporos.

Para entender melhor os valores de K_a é importante conhecer a umidade do solo avaliado, visto que o aumento da umidade reduz o volume de poros ocupados por ar, na Tabela 22, estão apresentados os volumes de poros livres de água (PLA) na tensão de 300 kPa em que a permeabilidade foi medida.

Tabela 22 - Poros livres de água (PLA) na tensão de água em que foi determinada a permeabilidade do solo ao ar. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
				$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$			
0-5	0,24	0,23	0,23	0,22	0,24	0,25	0,24 a
5-10	0,23	0,20	0,17	0,24	0,23	0,21	0,21 ab
10-15	0,18	0,24	0,22	0,21	0,19	0,21	0,21 ab
15-20	0,17	0,24	0,21	0,19	0,23	0,20	0,21 ab
20-25	0,16	0,16	0,17	0,22	0,17	0,17	0,18 c
25-30	0,19	0,20	0,23	0,20	0,19	0,19	0,20 bc
Média	0,19 ^{ns}	0,21	0,20	0,22	0,21	0,21	

C.V. Doses (%): 26,61

C.V. Camadas (%): 19,77

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Não se encontrou relação entre o volume de poros livres de água (PLA) e a permeabilidade do solo ao ar ($R^2=0,14$) indicando que efetivamente a continuidade dos poros é que governa o fluxo de ar no solo e não o volume de poros livres de água. (Figura 13).

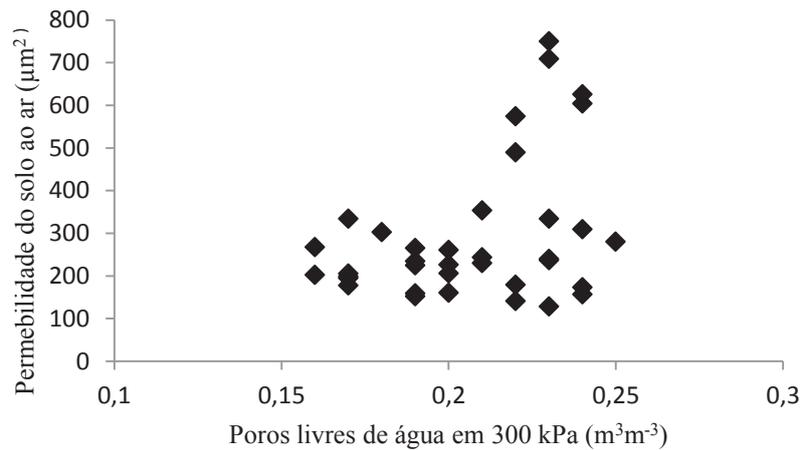


Figura 13- Permeabilidade do solo ao ar em função dos poros livres de água na tensão de 300 kPa em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno

A permeabilidade do solo ao ar reflete à capacidade do solo em permitir que o ar passe através de seus horizontes e indica as características dos poros, sendo maior em solos bem estruturados, o que foi evidenciado neste solo.

4.10 Agregados do solo estáveis em água

Tanto o diâmetro médio geométrico (DMG) como o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água (Tabela 23 e 24) não apresentaram interação entre doses e camadas e

diferença significativa para as doses, demonstrando que a agregação do solo não foi influenciada pelas doses de dejetos líquido suíno. Quando se analisa a média das camadas, verifica-se redução do DMG e DMP nas camadas mais profundas. Pode-se observar que este Latossolo apresentou altos valores de DMG e DMP mesmo na testemunha (dose 0), indicando que o solo na sua condição sem adição de dejetos líquido suíno, já apresentava uma boa qualidade estrutural.

Este resultado difere dos estudos realizados por Castro Filho et al., (2003), que verificaram melhoria na agregação do solo com a aplicação de doses crescentes de DLS.

Tabela 23- Diâmetro médio geométrico (DMG) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(mm)						
0-5	1,96	2,01	1,98	2,05	1,97	1,97	1,99 a
5-10	1,82	1,77	1,73	1,84	1,76	1,84	1,79 b
10-15	1,69	1,72	1,60	1,69	1,56	1,65	1,65 c
15-20	1,53	1,56	1,51	1,48	1,44	1,55	1,51 d
20-25	1,48	1,45	1,44	1,39	1,35	1,42	1,42 e
25-30	1,39	1,33	1,43	1,31	1,24	1,30	1,33 f
Média	1,65 ^{ns}	1,64	1,62	1,63	1,55	1,62	

C.V. Doses (%): 12,36

C.V. Camadas (%): 6,59

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

A relação entre a matéria orgânica e agregação se confirma na Figura 14, a qual mostra que, é possível estabelecer uma relação entre o DMG e a MO do solo.

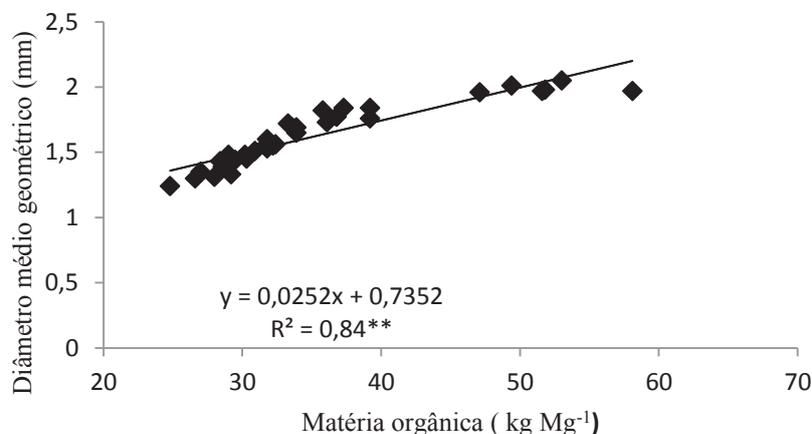


Figura 14 – Diâmetro médio geométrico em função do teor de matéria orgânica do solo em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

Tabela 24- Diâmetro médio ponderado (DMP) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(mm)						
0-5	5,2	5,6	5,4	5,8	5,3	5,4	5,4 a
5-10	4,8	4,7	4,4	5,1	4,6	4,9	4,7 b
10-15	4,2	4,5	3,9	4,3	3,8	4,0	4,1 c
15-20	3,4	3,8	3,5	3,4	3,2	3,7	3,5 d
20-25	3,4	3,3	3,1	3,0	2,7	3,1	3,1 e
25-30	3,0	2,9	3,2	2,7	2,3	2,6	2,8 f
Média	4,0	4,1	3,9	4,0	3,6	3,9	
C.V. Doses (%): 17,92			C.V. Camadas (%): 10,49				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Os índices de agregação na camada 0-5 cm foram superiores em relação às camadas 20-25 e 25-30 cm (Tabela 25).

Verifica-se que na camada de 0-5 cm em média 99% dos agregados apresentaram diâmetro superior a 0,21 mm, podendo-se concluir que este solo apresenta excelente estrutura física.

Os solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, pois a agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, em função do aumento da macroporosidade entre os agregados, além de garantirem a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados.

A Figura 15 mostra a relação entre o DMP e o teor de matéria orgânica do solo, indicando que outros fatores além da matéria orgânica interagiram determinando o estado de agregação do solo.

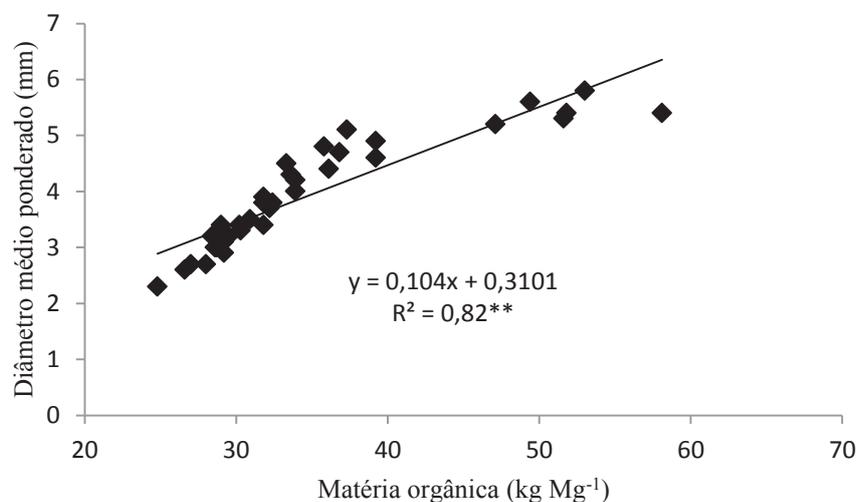


Figura 15– Diâmetro médio ponderado em função do teor de matéria orgânica do solo em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

Não há números absolutos para interpretar a qualidade da estrutura por meio do DMP e DMG. Cada índice de agregação tem um significado, sendo que o DMP será maior quanto maior for a percentagem de agregados retidos nas peneiras com malhas maiores, enquanto que o DMG é uma estimativa do tamanho real da classe de agregado com maior ocorrência.

Tabela 25 - Índice da estabilidade dos agregados (IEA) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(%)						
0-5	99,1	99,4	99,1	99,1	99,1	99,4	99,2 a
5-10	98,9	98,8	98,6	97,8	98,8	99,1	98,6 ab
10-15	98,9	98,9	98,8	98,8	98,4	98,9	98,8 ab
15-20	99,0	98,7	98,6	98,7	98,2	98,5	98,6 ab
20-25	98,5	98,0	98,6	98,2	98,2	98,2	98,3 b
25-30	98,7	97,7	98,6	97,9	98,1	97,7	98,1 b
Média	98,8 ^{ns}	98,6	98,7	98,4	98,5	98,6	
C.V. Doses (%): 1,05			C.V. Camadas (%): 0,92				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Os altos índices (99%) de agregação encontrados podem estar relacionados com a estruturação inicial que o Latossolo possuía no início do experimento. Gubiani et al. (2007), observaram pouca influência nos atributos físicos do solo após oito anos de aplicação de dejetos suínos em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. As alterações em atributos estruturais podem ocorrer de forma mais lenta caso o solo originalmente possua uma boa estrutura e, dessa forma, o incremento na agregação, devido à adição de compostos orgânicos e

ao possível incremento da atividade biológica pode ser menos evidente (MELLO et al., 2004).

Este estudo concorda com Mafra et al. (2012), que concluíram que a estabilidade dos agregados não foi influenciada pela aplicação de diferentes doses de DLS em Latossolo Vermelho Distroférico em experimento conduzido por dez anos com cultivo de milho e aveia sob sistema de plantio direto.

Os índices de agregação verificados neste estudo, discordam de Silva et al., (2011), que avaliaram as modificações ocorridas nas propriedades físicas de um Latossolo fertirrigado com efluentes de suínos e constataram que as doses crescentes de efluentes de suínos com a adição de adubo químico tendem a aumentar a estabilidade de agregados do solo.

4.11 Consistência do solo

A umidade do solo na condição do limite plástico (LP) e limite líquido (LL) não apresentou interação entre as doses e camadas e diferença significativa entre as doses. Na média das camadas observa-se um aumento da umidade do solo no LP e do LL na camada de 0-5 cm (Tabelas 26 e 27).

Tabela 26 - Umidade no solo no limite plástico em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(g g^{-1})						
0-5	0,37	0,39	0,38	0,37	0,38	0,40	0,38 a
5-10	0,34	0,33	0,34	0,35	0,34	0,36	0,34 bc
10-15	0,34	0,34	0,32	0,31	0,33	0,33	0,33 c
15-20	0,35	0,33	0,34	0,33	0,36	0,32	0,34 bc
20-25	0,35	0,33	0,35	0,34	0,33	0,33	0,34 bc
25-30	0,37	0,33	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35 b
Média	0,35 ^{ns}	0,34	0,35	0,34	0,35	0,35	

C.V. Doses (%): 11,64 C.V. Camadas (%): 6,86

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 27 - Umidade do solo no limite líquido em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(g g^{-1})						
0-5	0,46	0,48	0,48	0,45	0,48	0,50	0,47 a
5-10	0,41	0,41	0,42	0,44	0,42	0,44	0,42 b
10-15	0,41	0,42	0,41	0,40	0,42	0,42	0,41 b
15-20	0,43	0,40	0,42	0,43	0,45	0,43	0,43 b
20-25	0,44	0,43	0,44	0,44	0,46	0,43	0,44 b
25-30	0,45	0,42	0,44	0,45	0,45	0,44	0,44 b
Média	0,44 ^{ns}	0,43	0,44	0,43	0,45	0,44	

C.V. Doses (%): 13,72 C.V. Camadas (%): 6,34

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Essa elevação do LP e LL na camada de 0-5 cm ocorrem pela influência da matéria orgânica na definição dos limites de consistência para os solos cultivados, pela maior área específica da

matéria orgânica (HILLEL, 1980), o que proporciona grande capacidade de retenção de água e aumenta a necessidade de água para a formação de filmes de água ao redor das partículas minerais, resultando assim em aumento dos limites de consistência, reduzindo os riscos de deformações plásticas. Resultados semelhantes foram obtidos por Baver, (1966); Braida et al., (2006); Silva et al.,(2006b) e Vasconcelos et al., (2010).

A aplicação das diferentes doses de dejetos líquido suíno não afetou o índice de plasticidade do solo estudado. (Tabela 28).

Tabela 28 - Índice de plasticidade em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($m^3 ha^{-1}ano^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(%)						
0-5	8,27	8,48	10,71	8,11	9,09	10,15	9,13 ab
5-10	7,26	7,89	8,29	9,10	8,01	7,85	8,07 b
10-15	7,78	8,49	8,19	8,70	8,40	8,58	8,36 b
15-20	8,65	7,16	7,87	9,85	9,35	10,61	8,92 ab
20-25	9,04	10,15	8,80	9,75	12,83	10,07	10,11 a
25-30	9,66	8,69	8,74	10,40	7,67	9,68	9,14 ab
Média	8,45 ^{ns}	8,48	8,77	9,32	9,22	9,49	

C.V. Doses (%): 32,41 C.V. Camadas (%): 24,27

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Com base no índice de plasticidade sugerido por Amaro Filho et al. (2008), em valor <1 o solo não apresenta plasticidade; valor de 1 até 7 fracamente plástico; de 7 até 15 medianamente plástico; e valor acima de 15 altamente plástico. O solo deste estudo é considerado medianamente plástico em todas as camadas analisadas.

4.12 Umidade ótima de compactação

A UOC é a condição em que ocorre fácil reacomodação das partículas do solo em função da atuação da água como lubrificante e facilidade de expulsão de ar. A umidade ótima de compactação foi obtida a partir da equação 4.

A UOC não apresentou interação entre as doses e camadas e diferença significativa entre as doses. Na média das camadas observa-se incremento da umidade para esta condição em profundidade (Tabela 29), indicando a não interferência da aplicação dos DLS nessa condição.

Tabela 29 - Umidade ótima de compactação (UOC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
	(g g^{-1})						
0-5	0,29	0,30	0,28	0,29	0,29	0,27	0,291 d
5-10	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,326 c
10-15	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,335 bc
15-20	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,341 ab
20-25	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,34	0,341 ab
25-30	0,34	0,35	0,34	0,34	0,35	0,34	0,347 a
Média	0,330 ^{ns}	0,335	0,325	0,331	0,334	0,327	

C.V. Doses (%): 5,21

C.V. Camadas (%): 3,70

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.13 Análise conjunta de atributos físicos do solo relacionados a umidade do solo

O intervalo de umidade entre o PMP e a CC representa a água disponível para as plantas. Como já foi observado na Tabela 18 esta variável não apresentou diferença entre as doses e apresentou tendência de diminuição em profundidade.

A condição na qual o solo se encontra em estado de friabilidade é aquela em que são recomendadas as operações agrícolas principalmente aquelas de manejo do solo, uma vez que nessa condição ocorre pouca aderência do solo aos órgãos ativos dos implementos, pouca formação de torrões e boa capacidade de tração dos tratores.

Já a umidade ótima de compactação é aquela situação em que as condições para a compactação são ótimas. Então do ponto de vista da compactabilidade do solo deseja-se que essa condição não se encontrasse na condição de friabilidade do solo.

A determinação da umidade em que os solos se tornam friáveis é muito importante, uma vez que com esta é possível definir as faixas de umidade em que poderão ser feitos preparos ou manejos afetando o mínimo possível a estrutura do solo (KLEIN, 2012).

A relação LP/CC é denominada índice de estabilidade estrutural (IEE) para solos argilosos como um quociente entre a umidade no limite plástico e a umidade na condição de capacidade de campo (Tabela 30). Neste estudo o IEE apresentou quocientes inferiores a 1 indicando que o limite plástico deste e portanto a condição de friabilidade deste solo se encontra abaixo da condição da

capacidade de campo. Em termos práticos este solo para ser manejado seria necessário mais do que dois ou três dias após uma precipitação, condição em que o solo já estaria na capacidade de campo, mas ainda plástico dificultando as operações de preparo. O índice de estabilidade estrutural não apresentou interação entre doses e camadas e diferença significativa para doses e camadas.

Tabela 30 - Relação entre o limite plástico (LP) e a umidade na capacidade de campo (CC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
0-5	0,81	0,85	0,79	0,83	0,90	0,88	0,84 ^{ns}
5-10	0,82	0,83	0,86	0,84	0,84	0,91	0,85
10-15	0,84	0,84	0,81	0,78	0,84	0,81	0,82
15-20	0,82	0,83	0,84	0,77	0,87	0,81	0,82
20-25	0,83	0,81	0,81	0,76	0,82	0,83	0,81
25-30	0,83	0,87	0,85	0,76	0,90	0,87	0,85
Média	0,83 ^{ns}	0,84	0,83	0,79	0,86	0,85	
C.V. Doses (%): 12,93			C.V. Camadas (%): 9,19				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

A relação entre a UOC e o LP (Tabela 31) é utilizada como indicador da umidade que ocasiona maior desagregação do solo em caso de revolvimento (Tabela 31). A relação UOC/LP não foi influenciada pelas doses utilizadas e foi inferior a 1 na camada 0-5 e 5-10 cm em todas as doses inclusive na testemunha (Figuras 16, 17, 18, 19, 20 e 21), ou seja, a umidade ótima de compactação (UOC) foi inferior ou muito próxima à umidade do limite de plasticidade (LP), essa umidade encontra-se na faixa de umidade friável.

Os maiores valores (próximos a 1) são observados nas camadas mais profundas, justamente onde a transmissão de forças do tráfego na superfície será menor. Alguns estudos, como os realizados por Ojeniyi & Dexter (1979), Figueiredo et al. (2000) e Braida et al. (2006) obtiveram um valor fixo de 0,90 para a relação UOC/LP.

Quanto menor a relação UOC/LP mais suscetível à compactação é o solo, pois o intervalo de umidade na qual o solo está friável se sobrepõe ao intervalo na qual o solo está mais suscetível à compactação (Tabela 31).

Tabela 31 - Relação entre a umidade ótima de compactação (UOC) e o limite plástico (LP) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)						Média
	0	48	96	144	192	240	
0-5	0,78	0,76	0,75	0,79	0,77	0,68	0,76 c
5-10	0,94	0,99	0,95	0,92	0,96	0,88	0,94 b
10-15	0,98	0,99	1,01	1,05	1,00	0,99	1,00 a
15-20	0,96	1,02	0,98	1,02	0,94	1,04	0,99 a
20-25	0,97	1,04	0,92	0,99	1,02	1,03	0,99 a
25-30	0,93	1,04	0,95	0,99	0,93	0,99	0,97 ab
Média	0,92 ^{ns}	0,97	0,93	0,96	0,94	0,93	
C.V. Doses (%): 10,42			C.V. Camadas (%): 7,68				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

A relação LL/CC não apresentou interação entre doses e camadas e diferença significativa para as doses e camadas (Tabela 32). Quanto maior é for essa relação é melhor, pois mais distante está o limite líquido da capacidade de campo. Quando o teor de umidade do solo no limite líquido for próximo à capacidade de campo o solo

estará sujeito a sérios problemas de trafegabilidade de máquinas ou de animais, pois nessa condição o solo perde as propriedades de suporte a pressões podendo a pata do animal afundar. Provavelmente na condição de pastagem em função do emaranhado do sistema radicial das gramíneas, este problema deverá ser minimizado.

Na prática isto representa que após uma intensa precipitação mais dias terão que ser aguardados para possibilitar o pastejo dos animais sem risco à estrutura do solo.

Tabela 32- Relação entre o limite líquido (LL) e a umidade na capacidade de campo (CC) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno. FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Camadas cm	Doses (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)						Média
	0	48	96	144	192	240	
0-5	0,99	1,04	1,01	1,01	1,11	1,11	1,04 ^{ns}
5-10	0,99	1,02	1,07	1,06	1,04	1,11	1,05
10-15	1,04	1,05	1,02	1,00	1,06	1,02	1,03
15-20	1,02	1,01	1,03	0,99	1,09	1,08	1,04
20-25	1,05	1,05	1,01	0,98	1,13	1,08	1,05
25-30	1,03	1,09	1,06	0,98	1,09	1,11	1,06
Média	1,02 ^{ns}	1,04	1,03	1,00	1,09	1,08	

C.V. Doses (%): 14,43

C.V. Camadas (%): 8,53

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade de erro.

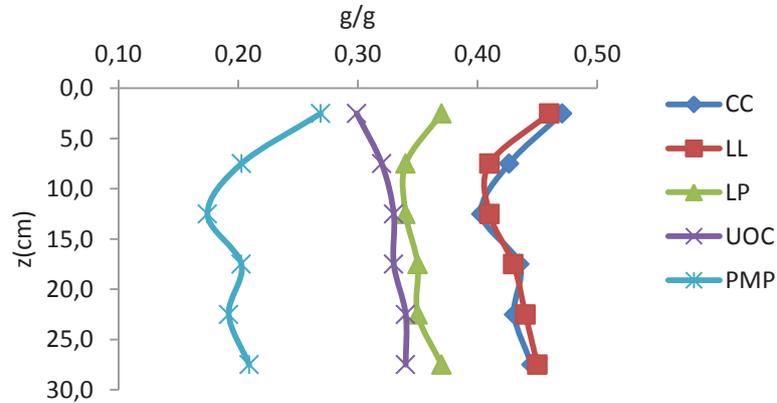


Figura 16- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($0 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno

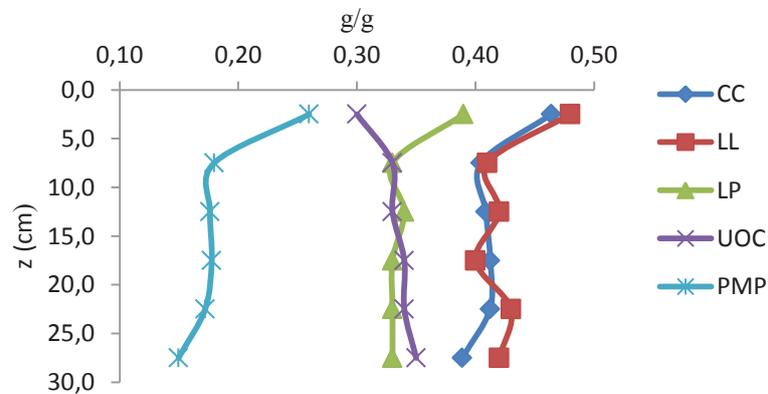


Figura 17- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($48 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

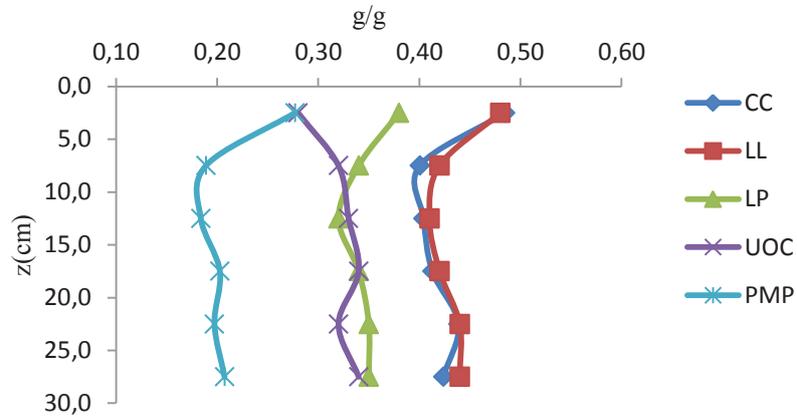


Figura 18- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($96 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos.

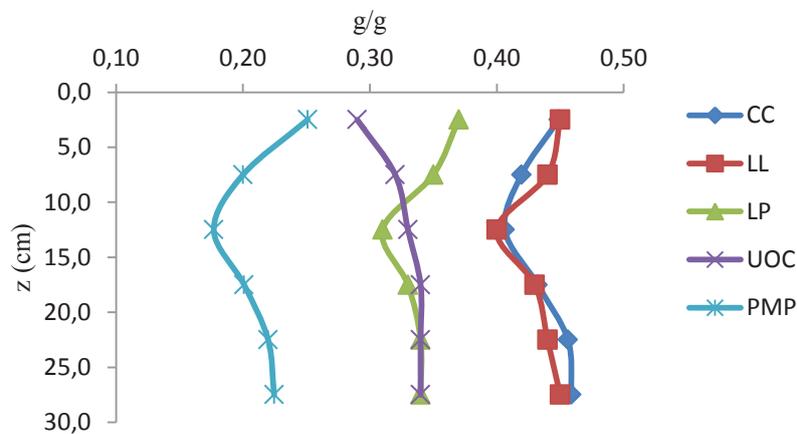


Figura 19- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($144 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos.

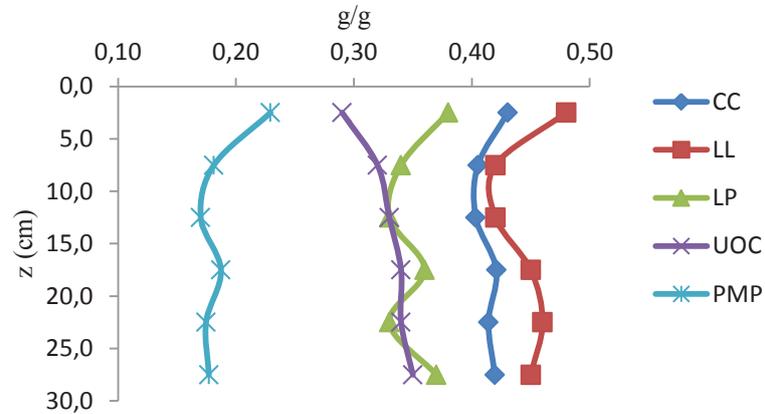


Figura 20- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($192 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

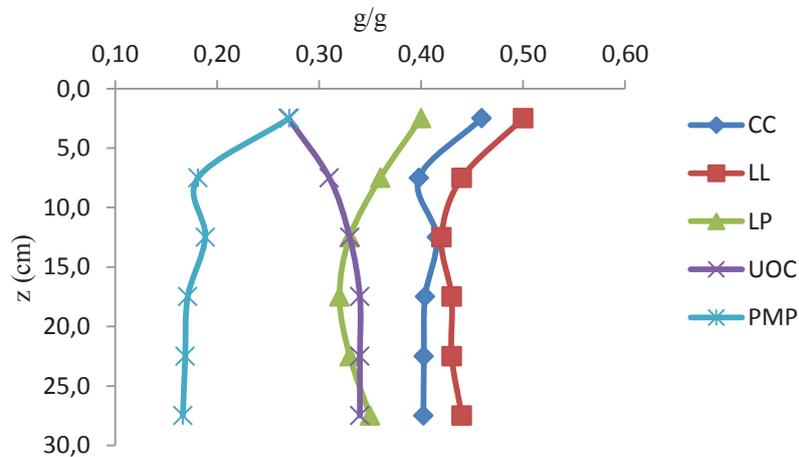


Figura 21- Umidade do solo na capacidade de campo (CC), limite líquido (LL), limite plástico (LP), umidade ótima de compactação (UOC) e ponto de murcha permanente (PMP) na dose ($240 \text{ m}^3 \text{ DLS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em camadas de um Latossolo Vermelho distroférico, após quatro anos de aplicação de doses de dejetos líquido suíno.

5. CONCLUSÕES

As hipóteses foram rejeitadas demonstrando com este trabalho que a aplicação de DLS até $240 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com teor de matéria seca de 1,72%, por um período de quatro anos, não provoca alterações nas propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Vermelho distroférico permitindo concluir que:

- 1) Não ocorreram alterações positivas como:
 - Aumento no teor de MO no solo;
 - Redução da densidade do solo;
 - Redução da RP;
 - Aumento da porosidade do solo;
 - Melhoria da agregação do solo;
 - Aumento da disponibilidade de água às plantas;
 - Aumento da permeabilidade do solo ao ar;
 - Elevação dos limites de consistência do solo.

- 2) Não ocorreram alterações negativas como:
 - Dispersão da argila ocasionando o selamento superficial, diminuindo a porosidade do solo e interferindo na movimentação de água no perfil;
 - Aumento da densidade do solo e da densidade relativa;
 - Aumento da RP;
 - Redução dos limites de consistência do solo;
 - Redução da permeabilidade do solo ao ar;
 - Redução da disponibilidade de água às plantas.

REFERÊNCIAS

ADELI, A.; VARCO, J. J.; SISTANI, K. R.; ROWE, D.E. Effects of swine lagoon effluent relative to commercial fertilizer application on warm-season forage nutritive value. *Agronomy Journal*, v. 97, p. 408-417, 2005.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos Físicos de Latossolos Ácricos do Norte Paulista. Piracicaba, *Sci. Agr.*, v.51, n.2, p.321-326, 1994.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIR, R. N.; MOTA, J. C. *A Física do solo: conceitos e aplicações*, 1ª ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008, 290 p.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICCOLLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, A. 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.

ANDRADE, A. P. *Estoque e frações de carbono e atributos físicos em Nitossolo Vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção*. 2013, 86f. Tese (Doutorado Manejo do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, Lages, 2013.

ANDRASKI, T. W.; BUNDY, L. G.; KILIAN K. Manure history and long-term tillage effects on soil properties and phosphorus losses runoff. *Journal Environmental Quality*. v. 31, p.1782-1789, 2003.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura de inverno e da adubação orgânica e, ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, n. 4, p. 587-865, out./dez. 2000.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, Mar./Abr., 2004.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 34, n. 4, p. 804-809, jul/ago, 2010.

ARRUDA, C.A.O. Atributos químicos e físicos do solo influenciados pela aplicação de dejetos suínos em lavoura sob plantio direto. 2007, 48f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, Lages, 2007.

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

ASSISTAT – Assistência estatística por Prof. Dr. Francisco de Assis Santos e Silva. DEAG-CT. Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2012.

ASSMANN, A. P.; SANTOS, I. dos; ASSMANN, J. M.; BRAIDA, J. A.; MALAGI, G.; Efeito de doses crescentes de esterco líquido de suínos na intensidade de antracnose e produtividade de soja. *Synergismus Scyentifica*. UTFPR, Pato Branco, v. 01, p. 187-196, 2006.

ASSMANN, T. S.; ASMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1515-1523, 2007.

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical properties: Experimental results and modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.61, p.391-398, 1997.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. *Avaliações de propriedades físicas de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos*. Sanare (SANEPAR), v. 17, n. 17, p. 94-101, 2002.

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

BARNABÉ, M. C. *Produção e composição bromatológica da Brachiaria brizantha v. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2001, 67p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2001.

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.

BASSO, C. J. *Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos*. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. *Soil physics*. New York: J. Wiley, 1972, 498p.

BAVER, L. D. *Soil physics*. 3.ed. New York, John Wiley. 1966, 489p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. 1 ed. Porto Alegre: Genesis, v.1, p. 9-26, 1999.

BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; O'SULLIVAN, M. F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E, eds. *Soil environmental analysis: physical methods*. 2.ed. New York: Marcel Decher, p.377-403, 2001.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 41, p. 341-358, 1990.

BERTO, J. L.; MIRANDA C. M. A sustentabilidade ambiental das propriedades suinícolas da microrregião do meio Oeste catarinense: uma avaliação com base no balanço de nutrientes. *In: II Congresso Brasileiro de Agroecologia, V Seminário Internacional sobre Agroecologia, VI Seminário Estadual sobre Agroecologia, 2004, Porto Alegre. Agrobiodiversidade - Base para sociedades sustentáveis, 2004.*

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 2, p. 263-267, 1995.*

BERTSCH, P. M.; SEAMAN, J. C. Characterization of complex mineral assemblages: Implications for contaminant transport and environmental remediation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 96, p. 3350-3357, 1999.*

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. dos; Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 6, 2008.*

BERWANGER, A. L. *Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos. 2006. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.*

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p. 787-794, 2006.*

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.*

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na

região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 167-177, 2001.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J.M. *Matéria orgânica e seu efeito na física no solo*. Tópicos em Ciência do Solo, v. VII, p. 221-278, 2011.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 605-614, 2006.

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

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. *Natureza e propriedade dos solos*. 5 ed. Trad. A. B. N. Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos. 1979, 647p.

BUNDY, L. G.; ANDRASKI, T. W.; POWELL, J. M. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. *Journal Environmental Quality*, v. 30, p. 1822-1828, 2001.

BURAK, D. L.; CARVALHO JUNIOR, I. A.; FONTES, M. P. F. Substâncias húmicas e a agregação de solos altamente intemperizados. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4, Viçosa, 2001. *Resumos...Viçosa*, Universidade Federal de Viçosa (IHSS), p. 102-104, 2001.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transaction of the ASAE*, v. 33, p. 519-524, 1990.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C., SMANIOTTO, A., NÓBREGA, L. H. P., QUEIROZ, M. M. F., GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuárias da suinocultura. *R. Bras. Eng. Ambiental*, v. 14, n. 7, p. 692-697, 2010.

CARDOSO, V. M. F. *Capacidade de suporte de carga como indicador da qualidade estrutural de solos agrícolas em áreas irrigadas*. 167f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 70, p. 425-433, 1990.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização do chorume suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXIX.; *Resumos...*, Ribeirão Preto: SBCS, UNESP, 2003.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 35, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; GIROTTI, E.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C. R. VIEIRA, R. C. B. Nutrients losses by runoff in the soil after successive pig slurry applications under no tillage system. *Soil and Tillage Research*, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: UFRGS, 400 p. 2004.

COSTA, A. M.; SOUZA, M. A. S.; SILVA JUNIOR, A. M.; FALQUETO, R. J.; BORGES, E. N. Influência da cobertura vegetal

na densidade de três solos da cerrado. In: *Anais... II Simpósio Regional de Geografia*. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.

COSTA, A. *Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: Avaliação e geração de funções de pedotransferência*. 2012. 424f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2012.

COSTA, A. M.; BORGES, E. N.; SILVA, A. A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciada pela aplicação de cama de frango. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 33, p. 1991-1998, 2009.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A.; LUCIANO, L. V; PÉRTILE P. Pedofunções hídricas para solos de Santa Catarina. IN: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO SUL DO BRASIL, 1. Florianópolis, 2010. *Anais...* Florianópolis Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de dejetos suínos. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves. *Boletim informativo de pesquisa – BIPERS*, n. 11, 1998.

DEXTER, A. R.; RICHARD, G.; ARROUAYS, D.; CZYŚ, E.A.; JOLIVET, C; DUVAL, O. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma*, v. 144, p. 620-627, 2008.

DORTZBACH, D. *Dinâmica de atributos físicos e químicos em solo sob plantio direto adubado com dejetos suínos e uréia*. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

EDWARDS, D. R.; DANIEL, T. C. Abstractions and runoff from fescue plots receiving poultry litter and swine manure. *American Society of Agricultural Engineers*. v. 36, p. 405-411, 1993

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCEG, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat>>. Acesso em fev.2011.

FATMA/EPAGRI. *Balanço de Nutrientes dos Dejetos Suínos para Adubação Orgânica: recomendações da experiência na bacia do Lageado dos Fragosos*. Concórdia SC / Coord. [por] Vamilson Prudêncio da Silva Jr.; Adilson de Freitas Zamparetti. _ Florianópolis : FATMA/EPAGRI, 2006.

FIGUEIREDO, L. H.A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.487-493, 2000.

FRANCHINI, J. C.; MIYZAWA, M.; PAVAN, M. A. ; MALAVOLTA, F. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos vegetais de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 3, p. 2267-2276, 1999.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N., ed. *Experiências de plantio direto no Cerrado*. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, p. 383-411, 1986.

GERARD, C. J; MEHTA, H. C.; HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. *Soil Sci.* v. 114, p. 37-49. 1972.

GESSEL, P. D.; HANSEN, N. C.; MONCRIEF, J. F. ; SCHMITT, M. A. Rate of fallapplied liquid swine manure: Effects on runoff transport of sediment and phosphorus. *Journal Environmental of Quality*, v. 33, p. 1839-1844, 2004.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p.885-893, 2002.

GIAROLA, N.F.B; TORMENA, C.A; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 863-873, 2007.

GIROTTTO, E. *Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquido de suínos*. 2007. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

GIROTTTO, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L. Perdas de nitrogênio e fósforo por escoamento superficial e percolação durante sete anos em um solo com aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos In: SIGERA 2009, Florianópolis. *Anais...* 2009.

GONÇALVES JÚNIOR, D.; SILVA, G. P.; MENEZES, J. F. S.; ÇONÇALVES, M. E. M. P.; SANTOS, C. J. L., SILVA, T. R. Influência da resistência do solo à penetração no peso radicular da cultura da cana de açúcar em solos adubados com dejetos líquido de suíno. In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 2009, Florianópolis, SC. *Anais...* Florianópolis, 2009.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.*, v. 73, p. 223-232. 1993.

GROHMANN, F.; VAN RAIJ, B. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 1, p. 52-53, 1977.

GUBIANI, P. I; REINERT, D. J; REICHERT J. M; C. A. CERETTA; KUNZ, M. Condições físicas de um argissolo vermelho distrófico arênico após oito ciclos de cultivo e uso de dejetos de suínos. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado, RS. *Anais...* Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

GUIVANT, J. S.; MIRANDA, C. R. (Orgs). *Desafios para o desenvolvimento sustentável da suinocultura: uma abordagem multidisciplinar*. Chapecó: Argos. 2004, 332 p.

HAFEZ, A. A .R. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixture of manure from various domestic animals. *Soil Sci.* v. 118, p. 53-59, 1974.

HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 16, p. 105-120, 1990.

HATI, K. M.; MANDAL, K. G.; MISRA, A. K.; GHOSH, P. K.; BANDYOPADHYAY, K. K. 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*, Oxford, v. 97, n. 16, p. 2182-2188, 2006.

HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. New York, Academic Press, 1980, 413p.

HOMEM, B. G. C; NETO, O. B. A.; SANTIAGO, A. M. F.; SOUZA, G. H. Dispersão da argila provocada pela fertirrigação com águas

residuárias de criatórios de animais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v. 2, n. 1, p. 89-98, julho, 2012.

IBGE (2011) Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Pecuária – Rebanho suíno. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/default.shtm> acesso em 09 de janeiro de 2013.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 35, p. 1493-1500, 2000.

JOKELA, W.; GRABBER, J.; KARLEN, D. Cover crop and liquid manure effects on soil quality indicators in a corn silage system. *Agronomy Journal*, Madison, v. 101, p. 727-737, 2009.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 237-240, 1991.

KIEHL, J. E. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIEHL, J. E. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979, 264p.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A.; BARBOZA, E. A.; COSTA, L. O.; MADALOSSO, T. Escarificação de solo sob plantio direto e seu efeito nas culturas da aveia e do milho. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. *Anais...* Uberlândia, 2011. CD-ROM.

KLEIN, V. A. Densidade relativa: um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciência Agroveterinária*, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A. *Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo*. Piracicaba, 1998. 150 p. Tese (Doutorado), USP-ESALQ, 1998.

KLEIN, V. A.; KLEIN, C.; MADALOSSO, T.; COSTA, L. O. ; BARBOZA, E. A. Determinação da permeabilidade do solo ar em pressão decrescente. In: VIII Reunião Sul Brasileira de ciência do solo, *Anais...* Santa Maria, 2010.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitantes ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. *Ciência Rural*, v. 30, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A. *Física do solo*. Editora UPF. Passo Fundo, 2012, 240p.

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.

KONZEN, E. A. Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola. In: Seminários técnicos de suinocultura. 7 Simpósio goiano de avicultura e Simpósio de suinocultura, 2, 2005, Goiânia; *Anais...*, Goiânia, GO, 2005.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos suínos e cama de aves. V Seminário técnico da cultura do milho, 5., 2003, Videira. *Anais...*, Videira, SC, 2003.

KUNZ, A. ; HIGARASHI, M. M. ; OLIVEIRA, P. A. *Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil*. Cadernos de Ciência e Tecnologia (EMBRAPA), v. 22, n.1, p. 651-665, 2005.

LEIROS, M. C.; GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, M. C.; SAA, A.; SEONE, S. soil recovery at the Meirana Opencast lignite mine in northwest Spain: a comparison of the effectiveness of cattle of slurry and inorganic fertilizer. *Water, Air Pollution*. Amsterdam, v. 91, n.1, p. 109-124, 1996.

LEMOS, C. F.; SILVA, E. T.; Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. *Revista Acadêmica:*

Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 11-18, jan./mar. 2005.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas:SBCS; SNLCS, 1984. 46p.

LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science*, Baltimore, v. 155, p. 15-22, 1993.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335p.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, p. 85-90, 1990.

LIMA, L. P. *Avaliação física de um Latossolo Vermelho textura média, influenciada pela aplicação de dejetos de suínos e cama aviária*. Uberlândia, 2007. 175f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

LINDNER, E. A. *Diagnóstico da suinocultura e avicultura em Santa Catarina*. Florianópolis: FIESC-IEL, 1999 1 CD -ROM.

LIPIEC, J.; HAKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S.; KOSSOWSKI, J. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soils e Tillage Research*, v. 19, p. 307-317, 1991.

LOURENZI, C. R. *Atributos químicos após dezenove aplicações de dejetos líquidos de suínos em argissolo sob plantio direto*. 2010. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; GROHSKOPF, M. A.; ALVES, C. T. F.; PANISSON, J.; FRIEDERICHS, A. Estabilidade de agregados em Latossolo tratado anualmente com dejetos suíno e cultivado com a sucessão aveia-milho sob plantio direto. In: XIX

REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2012, *Anais...* Lages, SC, 2012.

MAPA. *Diário Oficial da União*, n.198, Seção 1, p.5, segunda-feira, 13 out. 2008.

MARCOLIN, C. D. ; KLEIN., V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARCOLIN, C. D. *Uso de funções de pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto*. 2009. 187f. Tese (Doutorado). Passo Fundo, 2009.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A.; DURIGON F. F.; FAVERO, F.; SIGNOR, F. F. Influência do teor de argila no solo nos limites de consistência e na umidade ótima para compactação. VI REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2006, Passo Fundo. *Anais...* VI REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Passo Fundo: Embrapa - CNPT, 2006.

MATTIAS, J. L. *Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina*. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MCCARTHY, J. F.; ZACHARA, J. M. Subsurface transport of contaminants. *Environmental Science and Technology*, v. 23, n. 5, p. 496-502, 1989.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, B. M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. *Fertilidade do Solo*. São Paulo, Livraria Nobel. 1983, 400 p.

MELLO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com bio-sólido. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, p. 67-72. 2004.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 23, p. 197-202. 1999.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI R.B.; NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. 1. ed. Vicosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 65-90.

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*. v.40, p.848-853, 2010.

MIRANDA, E. E. V. *Modelagens e mapas de capacidade de suporte de carga de solos cultivados com cana-de-açúcar*. 2006. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

MIRANDA, M. *Desempenho Agronômico da grama-missioneira-gigante em Latossolo com uso de dejetos líquidos de suíno*. 2010. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2010.

MOORE, J. A.; HART, J. M. CHRISTENSEN, N. W. Nutrient management strategies. *Journal Dairy Science*, Missouri, v. 80, p. 2659-2666, 1997.

MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; TREVISOL, G.; JANDREY, W. F.; CANCIAN, L. C.; SILVA, V. R. Efeito do dejetos líquidos de suínos nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico. In: VIII REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2010, *Anais...* Santa Maria. UFSM, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; GARCEZ, J. R. B. *Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Porto Alegre: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária do Sul, 1970.

MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. *GI. Sci. Technol.*, Rio Verde, v. 05, n. 03, p. 162-169, set/dez. 2012.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.

OJENIYI, S. O.; DEXTER, A. R. Soil factor affecting the macrostructure produced by tillage. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, v.22, p.339-343, 1979.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 443-450, 2001.

OLIVEIRA, P. A. V. coord. *Manual de Manejo e Utilização de Dejetos de Suínos*. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L. V. Influência dos restos de matéria orgânica nas macro e microestruturas do solo. *Bioresource Technol.*, v. 43, p. 205-213, 1993.

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.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G. Relações entre estrutura do solo e tempo de aplicação de esterco de suínos. In:

WILLIAMS, J. H. *Long term effects of sewage sludge and farm slurries applications*. London: Elsevier, 1985, p.45-56.

PANDOLFO, C. M.; CERETTA, C. A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. *Ciência Rural*, v. 38, p. 1572-1580, 2008.

PELÁ, A.; MORAES, M. H.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, A. M.; OLIBONE, D.; ENCIDE, A. P. Agregação de um Latossolo Vermelho em função de adubações orgânica e mineral. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria; UFSM, 2004.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant and Soil*, v. 123, p. 27-37, 1990.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 1, Jan., 2001. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2001000100024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 Out. 2012. doi: 10.1590/S0100-204X2001000100024.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1991. 20p.

RAUBER, L. P. *Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistemas de uso com fertilizantes orgânicos*. 2011. 64f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Lages, 2011.

REDOY, K. R.; KHALEEL, R.; OVERCASH, M. R.; WESTERMAN, P. W. A mainpoint source model for land areas receiving animal wastes I: Mineralization of organic nitrogen. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, Michigan, v. 22, p. 863-872, 1979.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 28, p. 2948, 2003.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; EINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability for Rio Grane do Sul soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1547-156, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADE, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 32, p. 1805 – 1816, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. *Ciência Rural* (UFMS. Impresso), v. 36, p. 1931-1935, 2006.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, M. A.V. *Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade*. 1999. 71p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

RICHART, A.; FILHO TAVARES, J.; BRITO, O. R.; LANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.26, n.3, p. 321-344, jul./set.2005.

ROSA, B.; NAVES, M. A. T.; RAMOS, C. S.; LEANDRO, W. M.; MELO, A. V.; SANTOS, J. L. S. Resistência a penetração do solo

cultivado com capim braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em função da aplicação de dejetos líquidos de suínos em Goiânia, GO. XV Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água, 15., *Resumo.....*, Santa Maria: SBCS, UFSM, 2004. 3p CD-ROM

ROSEBERG, R. J.; MCCOY E. L. Tillage and traffic-induced changes in macroporosity and macropore continuity: air permeability assessment. *Soil Science Society American Journal*, v. 56, p. 1264-1267, 1992.

SÁNCHEZ, P. A.; SALINA, J. C. Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy*, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491p.

SAS INSTITUTE. *Statistical analysis systems user's guide* : version 6.12. USA, Cary, 1996.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, v.70, p.1569-1578, 2006.

SCHERER, E. E., NESI, C. N., MASSOTTI, Z. 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.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. *Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante*. Florianópolis: BARILLI. 1996. 46p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 79)

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*, v.31, p. 123-131, 2007.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; DIAS, L. F. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 35-39, 1995.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, *Soil Science Society of American*, 1986. P. 77-101.

SCHULTZ, Guilherme. *Boas Práticas Ambientais na Suinocultura* - Porto Alegre:SEBRAE/RS, 2007. 44p.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. & DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 28:797-804, 2004.

SEGANFREDO, M. A. A questão ambiental na utilização dejetos de suínos como fertilizante do solo. Concórdia, EMBRAPA-CNPSA, *Circular técnica*, N. 22, 2000.

SEGANFREDO, M. A. *Dejetos Animais a dupla face benefício e prejuízo*. 2004. Disponível em:
<http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2004/artigo-2004-n026.html>.
Acesso em 11 fev.2012.

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.

SEGANFREDO, M. A. Uso de dejetos suínos como fertilizantes e seus riscos ambientais. In: _____. *Gestão ambiental na suinocultura*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 149-175.

SEQUINATTO, L. *Qualidade física do solo e rendimento de grãos num Argissolo em processo de recuperação*. 2010.158f. Tese

(Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

SETA, A. K.; KARATHANASIS, A. D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. *Geoderma*, Amsterdam, v. 74, p. 255-266, 1996.

SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W.; KLEINMAN, P. J. A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *Soil Science Society of America Journal*, v. 68, p. 2048-2057, 2004.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.4, p.239- 249, 2000b.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 579-585, 2006a.

SILVA, A. P.; LEÃO, T. P.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1535-1545, 2009.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 44, n. 1-2, p. 81-93, 1997a.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; MAZZA, J. A. Manejo físico de solos sob pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14, Piracicaba, 1997. *Anais...* Piracicaba, FEALQ, p. 25-37. 1997b.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, J. B. BIANCHINI, A.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; MAAS, K. D. B. Atributos físicos de um Latossolo fertirrigado com efluentes de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIAS E AGROINDUSTRIAS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2011.

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

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

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006b.

SILVEIRA, L. R.; BRITO, A. S.; MORA, J. C. A.; MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Sistema automático de aquisição de dados para equipamento de medida de permeabilidade intrínseca do solo ao ar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Solo, v. 35, p. 429-436, 2011.

SMITH, C. W.; HADAS, A.; DAN, J.; KOYUMDJISKY, H. Shrinkage and atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma*, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 47-65, 1985.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTS, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.41, n.1/2, p.53-73, 1997.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de*

Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre, 2004. 394 p.

SORT, X.; ALCANIZ, J. M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research*. Amsterdam, v. 49, p. 337-345, 1999.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. D. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agriculture uses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 925-933, 2010.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TAYLOR, H. M.; BURNETT, E. Influence of soil strength on root growth habits of plants. *Soil Science*, Baltimore, v. 98, p. 174-180, 1964.

TEDESCO, M. J. *Análise de solo, plantas e outros minerais*. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995. 174p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 22, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p.286-292, 1999.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. *Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja*. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23)

VASCONCELOS, R. F. B., CANTALICE, J. R. B., SILVA, A. J. N., OLIVEIRA, V. S. O., SILVA, Y. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 34, p. 639-648, 2010.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C. M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejetos líquidos suíno. *Revista Agropecuária Catarinense*, v. 25, p. 74-78, n.2, jul.2012.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

WEIL, R. R.; KROONTJE, W. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. *J. Environ*, v. 8. p. 387-392, 1979.

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.