

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

**ÍNDICE S E FLUXO DE ÁGUA E AR EM SOLOS DO
SUL DO BRASIL**

TESE DE DOUTORADO

Carlos Arnaldo Streck

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

ÍNDICE S E FLUXO DE ÁGUA E AR EM SOLOS DO SUL DO BRASIL

por

Carlos Arnaldo Streck

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil

2007

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese de Doutorado

ÍNDICE S E FLUXO DE ÁGUA E AR EM SOLOS DO SUL DO BRASIL

elaborada por
Carlos Arnaldo Streck

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dalvan José Reinert, Dr.
(Presidente/Orientador)

Milton da Veiga, Dr. (Epagri)

Jackson Adriano Albuquerque, Dr. (UDESC)

José Miguel Reichert, Dr. (UFSM)

Flávio Luiz Foletto Eltz, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de setembro de 2007

Aos meus pais Luiz (in memorian) e Iria e a minha
irmã Eroni, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante.

A minha família, pela compreensão e carinho.

Ao professor Dalvan José Reinert, pela orientação, ensinamentos e amizade durante a realização deste trabalho.

Ao amigo Milton da Veiga, pelo auxílio na primeira coleta das amostras, inclusive disponibilizando um veículo e empréstimo do material para coleta.

Ao professor José Miguel Reichert, pela ajuda no planejamento e execução da primeira coleta.

Ao Clóvis Bervald e Steplan Gebhard e a Wibke Markgraf, pelo auxílio na segunda coleta das amostras.

Aos acadêmicos e funcionários do Instituto de Nutrição de Plantas e Ciência do Solo da Christian Albrechts Universität zu Kiel (CAU): Steplan Gebhard, Wibke Markgraf, Heine Fleige, Julia Kruemmelbein, Imke Janssen, Kristine Fruhner, Stefan Becker, Jens Rostek, Alexander Zink, Peter Hartmann, Stephan Peth e Xinhua Peng, pela amizade e convívio.

Ao amigo José Dörner pela estadia em seu apartamento durante meu primeiro semestre na Alemanha, e, pelas informações me repassadas, que facilitaram minha adaptação na Alemanha.

Ao casal Alexander Zink e Imke Janssen, pela estadia em seu apartamento durante meu segundo semestre na Alemanha, e também pela amizade e companheirismo.

Ao professor Rainer Horn, pela orientação e apoio no exterior, disponibilizando toda infraestrutura da CAU para realização dos trabalhos.

Aos professores do Departamento de Solos, pelos ensinamentos e grande amizade.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão de bolsa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior), pela concessão de bolsa para realização de Estágio de doutoramento no exterior na modalidade “Sandwich”, através do projeto PROBRAL sob a coordenação do professor José Miguel Reichert.

Aos bolsistas do laboratório de física do solo, e aos colegas de Pós-Graduação do PPGCS pelo companheirismo, ajuda e amizade.

Obrigado a todos.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ÍNDICE S E FLUXO DE ÁGUA E AR EM SOLOS DO SUL DO BRASIL

AUTOR: CARLOS ARNOLDO STRECK
ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de setembro de 2007.

A estrutura do solo é definida pela sua condição física, expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. Com o tempo de uso do sistema plantio direto, a estrutura do solo é modificada pela repetitividade das operações agrícolas realizadas ao longo dos anos. A alteração da estrutura pela compactação tem causado perdas na qualidade física dos solos. Neste trabalho, testou-se a sensibilidade do índice S, em relação a algumas propriedades físicas dos solos e avaliaram-se as alterações impostas pelo uso do solo no diâmetro dos poros, na condutividade hidráulica saturada e na condutividade do ar. Os solos avaliados foram: Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico, Latossolo Bruno aluminico, Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférrico. Os sistemas de uso foram: condição natural, representada pela mata nativa ou campo nativo; e condição de lavoura, sob plantio direto. O índice S não se relacionou com o teor de argila total ou argila dispersa. Para os solos argilosos e muito argilosos, o índice S apresentou um decréscimo exponencial com o aumento da densidade do solo e um crescimento exponencial com o aumento da matéria orgânica do solo. A água disponível as plantas aumentou de forma logarítmica com o aumento do S enquanto a pressão de pré-consolidação reduziu exponencialmente com o aumento do S. Conclui-se que o índice S apresentou sensibilidade para determinar a qualidade física dos solos de textura argilosa e muito argilosa. Quanto ao impacto do uso do solo sobre os fluxos de água e ar, constatou-se que o solo sob cultivo apresentou aumento na densidade e redução na porosidade total, ocorreu alteração na distribuição do diâmetro de poros com aumento da quantidade de poros pequenos em detrimento dos poros maiores, o que provocou a redução da condutividade hidráulica saturada e da condutividade do ar no solo. A alta estruturação do solo na mata nativa favoreceu a presença de poros grandes e menor quantidade de poros de tamanho intermediário. Nas camadas mais compactadas do plantio direto verificou-se a redução da classe de poros de tamanho intermediário e o aumento da quantidade de poros pequenos.

Palavras-chave: qualidade física do solo, distribuição do diâmetro de poros, condutividade hidráulica saturada, condutividade do ar no solo, uso e manejo do solo.

ABSTRACT

Doctor Thesis
Post Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

S INDEX AND WATER AND AIR FLOW IN SOILS FROM SOUTH BRAZIL

AUTHOR: CARLOS ARNOLDO STRECK

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

Place and date of the defense: Santa Maria, September 27, 2007.

Soil structure is defined by form and arrangement of soil particles and pores. As a consequence of time increase of no-tillage use the soil structure has been modified by repetition of traffic caused by agricultural operations throughout years, which, in turn, has been identified as compaction implying in lost of soil quality. In this study, the S index sensibility was tested as related to other soil physical properties and was evaluated also the alterations of pore diameters and its implications on saturated hydraulic conductivity and air conductivity caused by soil use. It was used six Oxisols, classified by Brazilian soil classification system as: Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico, Latossolo Bruno aluminico, Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférrico. The soil uses studied were: a) natural condition represented by native forest or grass field and; b) no-tillage. The S index was not associated to total clay content neither to dispersed clay content. However, for clayey soils the S index had an exponential decrease as the bulk density increased and an exponential increase as organic matter increased. The available water had a log increase with S increase and pre-consolidation pressure reduced exponentially as S index increased. These results imply sensibility to S index to evaluate soil quality of clayey soils. The soil use effects on water and air flow was detected by alterations caused by no-tillage on increasing bulk density, reducing total porosity, changing pore size distribution with increase in micropores as macropores reduced causing, in turn, reduction on saturated hydraulic conductivity and air conductivity. The high aggregation state of soils under native forest favored to presence of big pores and smaller amount of intermediate pores. In more compacted layer of soils under no-tillage was detected reduction of intermediate pore class and increase in micropores.

Key words: soil quality, pore size distribution, saturated hydraulic conductivity, air conductivity, soil use and management.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Teores de matéria orgânica do solo (MOS), argila e densidade de partículas (Dp) de solos coletados sob duas condições de uso.....	19
TABELA 2 – Densidade do solo, macro, micro e porosidade total do Latossolo Vermelho eutrófico, sob plantio direto e floresta.....	20
TABELA 3 – Índice S para o Latossolo Vermelho eutrófico sob plantio direto e floresta, calculado a partir das curvas de retenção de água.....	21
TABELA 4 – Densidade do solo, porosidade total e distribuição do diâmetro de poros de quatro solos do Sul do Brasil, sob duas condições de uso.....	41
TABELA 5 –Densidade do solo, porosidade total e distribuição do diâmetro de poros de três solos do Sul do Brasil, sob duas condições de uso.....	42
TABELA 6 - Condutividade hidráulica saturada ($\log K_s$) de sete solos do Sul do Brasil, considerando as camadas avaliadas e o uso do solo.....	52
TABELA 7 - Condutividade do ar ($\log K_a$) de sete solos do Sul do Brasil, considerando as camadas avaliadas e o uso do solo.....	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Curva de retenção de água ajustada pelo modelo de Van Genuchten, para o Latossolo Vermelho eutrófico sob dois usos, floresta (a) e plantio direto (b), em três camadas.....	21
FIGURA 2 – Comportamento do índice S em função do teor de argila para diferentes solos do sul do Brasil.....	23
FIGURA 3 – Comportamento do índice S em função do teor de argila para solos sob diferentes usos.....	24
FIGURA 4 – Comportamento do índice S em função da densidade do solo (Mg m^{-3}) para dois grupos texturais de solos.....	25
FIGURA 5 – Comportamento do índice S em função do teor de matéria orgânica do solo (MOS, %) para dois grupos texturais de solos.....	26
FIGURA 6 – Comportamento do índice S em função da argila dispersa (g L^{-1}) para dois grupos texturais de solos.....	27
FIGURA 7 – Comportamento da água disponível as plantas (kg kg^{-1}) em função do índice S para dois grupos texturais de solos.....	28
FIGURA 8 – Comportamento da pressão de pré-consolidação (kPa) em função do índice S para dois grupos texturais de solos.....	29
FIGURA 9 – Permeâmetro utilizado para determinação da condutividade do ar no solo (K_i) em amostras de estrutura preservada.....	36

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Densidades e porosidades do Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico.....	66
APÊNDICE B – Densidades e porosidades do Latossolo Vermelho textura média, Latossolo Vermelho textura argilosa e Latossolo vermelho distroférico.....	67
APÊNDICE C – Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico	68
APÊNDICE D – Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho distrófico textura média, Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico.....	69
APÊNDICE E – Índice S para o Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico, sob dois usos.....	70
APÊNDICE F – Índice S para o Latossolo Vermelho de textura média, Latossolo Vermelho de textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico, sob dois usos.....	71
APÊNDICE G – Ilustração do permeâmetro de carga variável e do procedimento utilizado na determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s), nos solos estudados.....	72
APÊNDICE H – Número de observações (n), médias geométricas da condutividade hidráulica saturada (K_s) e coeficiente de variação (CV) para as profundidades de cada solo avaliado.....	73

APÊNDICE I – Número de observações (n), médias geométricas da condutividade do ar no solo (K_i) e coeficiente de variação (CV) para as profundidades de cada solo avaliado.....	74
APÊNDICE J – Características físicas e químicas de sete solos sob duas condições de uso.....	75
APÊNDICE L – Condutividade do ar (K_i) em sete solos sob duas condições de uso.....	78
APÊNDICE L – Condutividade hidráulica saturada (K_s) de sete solos sob duas condições de uso.....	79
APÊNDICE N – Pressão de pré-consolidação (σ_p) de sete solos sob duas condições de uso.....	80
APÊNDICE O – Densidade do solo, macro, micro e porosidade total de sete solos sob duas condições de uso.....	82
APÊNDICE P – Conteúdo de água retido em diferentes potenciais matriciais, para sete solos sob duas condições de uso.....	89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. CAPÍTULO I RELAÇÕES DO ÍNDICE S PARA ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS DO SUL DO BRASIL.....	15
2.1 Resumo.....	15
2.2 Introdução.....	15
2.3 Material e métodos.....	17
2.4 Resultados e discussão.....	20
2.4.1 Relação do manejo com o índice S.....	20
2.4.2 Comportamento do índice S em relação ao teor de argila.....	23
2.4.3 Comportamento do índice S em relação à densidade do solo.....	24
2.4.4 Comportamento do índice S em relação ao teor de matéria orgânica do solo.....	25
2.4.5 Comportamento do índice S em relação ao teor de argila dispersa.....	26
2.4.6 Água disponível às plantas e pressão de pré-consolidação em função do índice S.....	28
2.5 Conclusões.....	29
2.6 Referências Bibliográficas.....	30
3. CAPÍTULO II INFLUÊNCIA DO MANEJO NO FLUXO DE ÁGUA E AR DO SOLO.....	32
3.1 Resumo.....	32
3.2 Introdução.....	32
3.3 Material e métodos.....	34
3.4 Resultados e discussão.....	37
3.4.1 Relação do uso com a densidade e porosidade total dos solos.....	37
3.4.2 Relações entre uso e a distribuição do diâmetro de poros dos solos (DDP)	43

3.4.3 Influência do uso do solo na condutividade hidráulica saturada (K_s).....	51
3.4.4 Influência do uso do solo na condutividade do ar no solo (K_l).....	56
3.5 Conclusões.....	60
3.6 Referências bibliográficas.....	61
4. CONCLUSÕES FINAIS.....	65

1. INTRODUÇÃO GERAL

A qualidade do solo se refere à integração de processos no solo e propicia a estimativa das alterações de sua condição, em função de fatores, como padrões climáticos, sistemas de manejo ou capacidade que tem o solo de funcionar ou não adequadamente. Existem vários conceitos de qualidade do solo, entre os quais um dos mais consagrados é o que se refere à capacidade do solo desempenhar ou não adequadamente suas funções. As principais funções do solo podem ser resumidas em: servir como meio para o crescimento de plantas, exercer regulação e participação do fluxo de massa e energia no ambiente e atuar como filtro ambiental.

A qualidade do solo pode ser dividida em três aspectos principais: qualidade física, química e biológica do solo. Entre estes, a qualidade física apresenta grande influência sobre processos químicos e biológicos do solo e, por consequência, desempenha um papel central em estudos sobre qualidade do solo.

Para utilizar um parâmetro para avaliar um processo ou uma propriedade, este deve: (a) de algum modo influenciar o processo para a qual a avaliação está sendo feita, (b) deverá permitir a comparação com alguma condição definida como padrão e, (c) ser sensível e permitir a detecção de diferenças em escala pontual no tempo e no espaço. O difícil tem sido encontrar um parâmetro que inclua as propriedades físicas do solo e que se relacione com o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Um parâmetro físico do solo introduzido recentemente na literatura é o índice S, o qual é obtido a partir da curva de retenção da água no solo e representa o valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão. Um aumento nos valores de S indicam uma ampla distribuição de tamanho de poros, condizente com condições estruturais que estabelecem um adequado funcionamento físico do solo. Portanto, fatores relacionados ao solo e ao manejo, que influenciam a distribuição do tamanho de poros, se traduzem em mudanças nos valores de S, e, na qualidade física do solo.

Por outro lado, no contexto da agricultura moderna a compactação antropogênica causada pelo tráfego de máquinas sobre o solo se constitui na maior causa da degradação física dos solos agrícolas. Fatores relacionados com as máquinas agrícolas, tais como: elevada carga por eixo, pequena largura do pneu e alta pressão de inflação do pneu, têm aumentado a compactação do solo. Os sistemas de manejo do solo também têm grande influência nas propriedades físicas do solo e estão relacionados com a compactação. No sistema de plantio

direto o efeito cumulativo do tráfego de máquinas tem sido apontado como principal causa da compactação do solo. Outro fator que promove a compactação superficial e progressiva no plantio direto é o tráfego de máquinas em condições de umidade favorável à deformação plástica do solo. As principais consequências da compactação nas propriedades físicas do solo são o aumento da densidade, diminuição do tamanho dos poros e redução da condutividade hidráulica.

Com base no exposto, neste trabalho, avaliou-se a sensibilidade do índice S , em relação a algumas propriedades intrínsecas e dinâmicas de distintos solos do Sul do Brasil, e, as alterações impostas pelo uso dos solos no diâmetro dos poros e suas implicações na condutividade hidráulica saturada e na condutividade do ar.

2. CAPÍTULO I RELAÇÕES DO ÍNDICE S PARA ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS DO SUL DO BRASIL

2.1 Resumo

O solo é considerado o alicerce dos sistemas de produção agrícolas. Perdas nas suas propriedades que afetam a sustentação do crescimento vegetal ou causem riscos ambientais, causam impactos negativos nas comunidades rurais e se refletem direta ou indiretamente no meio urbano. Por isso, é crescente a necessidade de se gerar indicadores que possam quantificar a qualidade física do solo. Nesse sentido testou-se a sensibilidade do índice S proposto na literatura, para alguns solos do Sul do Brasil. O índice S representa o valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão. Um aumento nos valores de S indica uma ampla distribuição de tamanho de poros, condizente com condições estruturais que estabelecem um adequado funcionamento físico do solo. O índice S não se relacionou com o teor de argila total e nem com o teor de argila dispersa dos solos. Para o grupamento dos solos argilosos e muito argilosos, o índice S apresentou um decréscimo exponencial com o aumento da densidade do solo e um crescimento exponencial com o aumento da matéria orgânica do solo. Para o mesmo grupamento textural, a água disponível às plantas aumentou de forma logarítmica com o aumento do S, enquanto a pressão de pré-consolidação reduziu exponencialmente com o aumento do S. Conclui-se que o índice S apresentou sensibilidade para determinar a qualidade física do grupamento de solos de textura argilosa e muito argilosa. Para os solos de textura média faz-se necessário avaliar um maior número de solos sob diferentes condições de uso e manejo.

2.2 Introdução

A qualidade física do solo é um tema que ultimamente tem recebido crescente atenção. Existem vários conceitos de qualidade do solo que foram propostos na literatura. Um dos mais consagrados é o de Karlen et al. (1997), que se refere à capacidade do solo desempenhar ou não adequadamente suas funções. Sendo as principais funções do solo resumidas em: servir como meio para o crescimento de plantas, exercer regulação e participação do fluxo de massa e energia no ambiente e atuar como filtro ambiental (Reichert et al., 2003).

A qualidade do solo pode ser dividida em três aspectos principais: qualidade física, química e biológica do solo. É reconhecido que a melhora do ambiente edáfico tem efeitos positivos sobre todo o ambiente, o que determina a grande importância do conhecimento da qualidade do solo e sua quantificação via indicadores físicos, químicos e biológicos.

A qualidade física do solo apresenta grande influência sobre processos químicos e biológicos do solo e, por consequência, desempenha um papel central em estudos sobre qualidade do solo.

A qualidade física do solo se manifesta de várias maneiras: na infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, na resposta ao manejo e na resistência à degradação, na ocorrência das trocas de calor e de gases com a atmosfera e com as raízes das plantas e no crescimento das raízes.

Muito esforço tem sido feito para geração de parâmetros que possam avaliar a qualidade física do solo. Segundo Karlen (1997), para utilizar um parâmetro para avaliar um processo ou uma propriedade, este deve: (a) de algum modo influenciar o processo para a qual a avaliação está sendo feita, (b) deverá permitir a comparação com alguma condição definida como padrão e, (c) ser sensível e permitir a detecção de diferenças em escala pontual no tempo e no espaço. O difícil tem sido encontrar um parâmetro que inclua as propriedades físicas do solo e que se relacione com o crescimento e desenvolvimento das plantas (Reinert et al., 2006).

Um índice físico do solo introduzido recentemente na literatura por Dexter (2004 a, b, c) é o índice S, o qual é obtido a partir da curva de retenção da água no solo e representa o valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão. Segundo Dexter (2004 a), um aumento nos valores de S (maior inclinação) indica uma ampla distribuição de tamanho de poros, condizente com condições estruturais que estabelecem um adequado funcionamento físico do solo. Assim sendo, fatores relacionados ao solo (textura e estrutura) e ao manejo (matéria orgânica do solo, compactação e preparo etc.) que influenciam a distribuição do tamanho de poros refletem em mudanças nos valores de S, e, portanto, na qualidade física do solo. O mesmo autor numa tentativa de estabelecer limites para indicar condições favoráveis e restritivas para o crescimento das raízes das plantas propõe respectivamente, o valor $S > 0,035$ e $S < 0,035$. Valores de $S < 0,020$ representam condições físicas do solo muito pobres e com alta restrição ao crescimento das raízes das plantas. O índice S apresenta sensibilidade para identificar a degradação da qualidade física do solo em função do pisoteio animal, em função de diferentes usos do solo (solo sob mata e solo sob

pomar de laranja) e na caracterização da qualidade física de horizontes do solo, em função da granulometria e do conteúdo de matéria orgânica (Silva, 2004).

Esse trabalho teve o objetivo de testar a sensibilidade do S em relação a algumas características intrínsecas e dinâmicas de sete solos do Sul do Brasil.

2.3 Material e métodos

Os solos avaliados foram coletados em duas condições de uso, sob lavoura com mais de cinco anos no sistema plantio direto (sistema plantio direto estabilizado) e sob condição natural (floresta ou campo nativo). A condição sob lavoura representa as práticas culturais e de manejo, características do sistema plantio direto adotado em cada região de ocorrência dos solos avaliados. Utilizaram-se os seguintes solos, classificados segundo EMBRAPA – Solos (1999) como: (1) Latossolo Vermelho eutrófico, coletado no município de Missal - PR; (2) Latossolo Vermelho aluminoférrico, coletado no município de Pato Branco – PR; (3) Nitossolo Vermelho distrófico, coletado no município de Campos Novos – SC; (4) Latossolo Bruno aluminico, coletado no município de Vacaria – RS; (5) Latossolo Vermelho distrófico de textura média, coletado no município de Cruz Alta; (6) Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, também coletada no município de Cruz Alta –RS; e (7) Latossolo Vermelho distroférrico, coletado no município de Santo Ângelo – RS.

Para os primeiros quatro solos (1 a 4), foram coletadas amostras de estrutura preservada e deformada nas camadas de 0-0,05; 0,15-0,20 e 0,30-0,35 m, e para os demais solos nas camadas de 0-0,07; 0,07-0,15; 0,20-0,30; 0,40-0,45 m. As amostras de estrutura preservada foram saturadas e submetidas ao potencial matricial de -1 kPa, -6 kPa, -33 kPa e -100 kPa com seis repetições nos primeiros quatro solos, e -1 kPa, -6 kPa, -15 kPa, -30 kPa, -50 kPa, -100 kPa e -300 kPa com três repetições para os três últimos. Para isso, foi utilizada a mesa de tensão, mesa de areia e câmara de Richards. Para obter o conteúdo gravimétrico de água no solo em valores de potencial matricial em torno de -1500 kPa (ponto de murcha permanente, PMP), utilizou-se a equação da curva de retenção (CRA) gerada pelo potenciômetro de ponto de orvalho (dew point potentiometer), a partir das amostras de solo deformadas.

Ajustaram-se curvas de retenção de água (utilizando-se o conteúdo de água em base gravimétrica), empregando-se o modelo de Van Genuchten (1980), mediante o software SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

A teoria sobre o índice S está detalhadamente descrita em Dexter (2004 a). O índice S é fisicamente baseado na curva de retenção de água no solo (CRA) e é definido como o valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão.

A determinação do valor S pode ser feita diretamente a partir da CRA, com a plotagem da umidade do solo a base de massa (umidade gravimétrica) em função do potencial matricial desde que na CRA se tenham muitos pontos medidos com exatidão. Entretanto, é mais conveniente ajustar a curva a uma função matemática e então calcular a inclinação no ponto de inflexão através dos parâmetros da função. Este foi o procedimento adotado neste trabalho. Para cálculo do parâmetro S empregou-se a Equação 1, apresentada por Dexter (2004 a) que é utilizada quando o ajuste é feito pelo modelo de Van Genuchten (1980).

$$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1+1/m]^{-(1+m)} \quad (1)$$

Onde:

S = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;

θ_{res} = conteúdo de água residual (g g^{-1});

θ_{res} = conteúdo de água residual (g g^{-1});

θ_{es} = conteúdo de água residual (g g^{-1});

θ_{s} = conteúdo de água residual (g g^{-1});

θ_{res} = conteúdo de água residual (g g^{-1});

θ_{sat} = conteúdo de água saturado (g g^{-1});

θ_{sat} = conteúdo de água saturado (g g^{-1});

θ_{at} = conteúdo de água saturado (g g^{-1});

θ_{t} = conteúdo de água saturado (g g^{-1});

θ_{sat} = conteúdo de água saturado (g g^{-1});

$$ADP = \theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{PMP}} \quad (2)$$

As determinações da granulometria, argila natural, matéria orgânica do solo (MOS), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), foram segundo EMBRAPA (1997). Os teores de argila, e de MOS e Dp estão representadas na Tabela 1.

A água disponível para as plantas (ADP, kg kg^{-1}), foi calculada utilizando-se a Equação 2, a partir das CRA e utilizando o conteúdo gravimétrico de água na capacidade de campo ($\theta_{\text{cc}} = -10 \text{ kPa}$) e o conteúdo gravimétrico de água no PMP ($\theta_{\text{PMP}} = -1500 \text{ kPa}$).

Na determinação da pressão de pré-consolidação (σ_p) utilizaram-se prensas multistep com aplicação subsequente de cargas e com armazenamento automático dos dados. As amostras foram previamente equilibradas no potencial matricial de -6 kPa.

Na avaliação do comportamento do índice S em relação ao teor de argila, utilizaram-se todos os solos coletados.

Na avaliação do comportamento do índice S em relação a Ds, MOS, teor de argila dispersa, ADP e σ_p , optou-se por separar os solos em grupamentos texturais (conforme os critérios de EMBRAPA, 1999), para evitar que a textura influenciasse o comportamento do índice S em relação as demais propriedades. Os grupamentos texturais foram dois: (a) grupamento dos solos com textura média e (b) grupamento dos solos de textura argilosa e muito argilosa.

Tabela 1 – Teores de matéria orgânica do solo (MOS), argila e densidade de partículas (Dp) de solos coletados sob duas condições de uso

Solo	Profundidade (m)	MOS (%)		Argila (g kg^{-1})		Densidade de partículas (Mg m^{-3})	
		Uso		Uso		Uso	
		Plantio direto	Floresta /Campo nativo	Plantio direto	Floresta /Campo nativo	Plantio direto	Floresta /Campo nativo
Latossolo Vermelho eutrófico	0-0,05	4,8	-	450	560 *	2,83	2,67 *
	0,15-0,20	4,3	-	620	680 *	2,84	2,76 *
	0,30-0,35	2,2	-	760	820 *	2,82	2,74 *
Latossolo Vermelho alumino-férrico	0-0,05	6,5	9,8 *	660	680 *	2,77	2,61 *
	0,15-0,20	4,9	6,1 *	710	690 *	2,79	2,71 *
	0,30-0,35	3,6	5,0 *	710	670 *	2,78	2,77 *
Nitossolo Vermelho distrófico	0-0,05	8,3	9,4 *	690	780 *	2,66	2,54 *
	0,15-0,20	6,9	9,3 *	690	770 *	2,68	2,56 *
	0,30-0,35	5,7	7,7 *	720	710 *	2,69	2,65 *
Latossolo Bruno aluminico	0-0,05	8,3	9,0 **	660	490 **	2,60	2,69 **
	0,15-0,20	5,5	5,5 **	660	540 **	2,67	2,76 **
	0,30-0,35	4,7	4,6 **	690	610 **	2,69	2,75 **
Latossolo Vermelho distrófico textura média	0-0,07	2,4	2,3 **	161	174 **	2,57	2,54 **
	0,07-0,15	1,1	1,4 **	183	173 **	2,63	2,59 **
	0,20-0,30	1,0	1,5 **	232	174 **	2,59	2,64 **
	0,40-0,45	0,7	0,9 **	239	186 **	2,64	2,62 **
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	0-0,07	5,4	10,1 **	361	528 **	2,64	2,71 **
	0,07-0,15	4,3	4,5 **	395	516 **	2,76	2,82 **
	0,20-0,30	3,3	3,7 **	447	558 **	2,70	2,82 **
	0,40-0,45	2,2	3,8 **	471	633 **	2,69	2,77 **
Latossolo Vermelho distroférrico	0-0,07	5,6	10,1 *	645	568 *	2,87	2,62 *
	0,07-0,15	3,4	6,3 *	676	584 *	2,85	2,80 *
	0,20-0,30	2,1	4,0 *	706	619 *	2,86	2,86 *
	0,40-0,45	1,8	3,4 *	751	653 *	2,88	2,80 *

* Floresta ** Campo Nativo

Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o pacote estatístico SAS (SAS Institute, 1999). O teste de Duncan a 5% de nível de significância foi utilizado para comparar médias de densidade e porosidade entre camadas. Nas CRA, utilizou-se o teste DMS a 5% de nível de significância para comparar médias do conteúdo de água entre camadas para um mesmo potencial matricial. Para o parâmetro S, ajustaram-se equações para Ds, MOS, teor de argila dispersa, ADP e σ_p . Na apresentação das equações a significância é indicada por asteriscos colocados junto ao coeficiente de determinação (r^2).

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Relação do manejo com o índice S

Para representar a relação entre as propriedades físicas do solo impostas pelo manejo e sua influência na CRA e no parâmetro S, optou-se por exemplificar tomando-se como exemplo o primeiro solo coletado: Latossolo Vermelho eutrófico. Para os demais solos as densidades, porosidades, CRA e valores do índice S estão representados em Apêndice (Apêndice A, B, C, D e E).

Observa-se no Latossolo Vermelho eutrófico sob plantio direto que a camada de 0,15 a 0,20 m de profundidade apresentou maior Ds, menor Mac e Pt (Tabela 2). Isso é reflexo da compactação do solo, que normalmente em plantio direto se concentra de 0,08 até 0,15 m de profundidade (Reichert et al., 2003), mas que na área em estudo atingiu a profundidade de 0,20 m e pode ser atribuída ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas sobre a superfície do solo.

Tabela 2 – Densidade do solo, macro, micro e porosidade total do Latossolo Vermelho eutrófico, sob plantio direto e floresta

Camada (m)	Ds (Mg m^{-3})		Mac ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Mic ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	
	Plantio direto	Floresta	Plantio direto	Floresta	Plantio direto	Floresta	Plantio direto	Floresta
Latossolo Vermelho eutrófico								
0-0,05	1,17 b*	0,85 b	0,15 a	0,29 a	0,39 a	0,34 a	0,54 a	0,63 a
0,15-0,20	1,41 a	1,09 a	0,07 b	0,21 b	0,42 a	0,36 a	0,48 b	0,57 b
0,30-0,35	1,23 b	1,07 a	0,09 b	0,19 b	0,43 a	0,37 a	0,52 a	0,56 b
CV %	7,3	4,2	36,7	6,5	9,6	7,4	3,5	3,9

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%

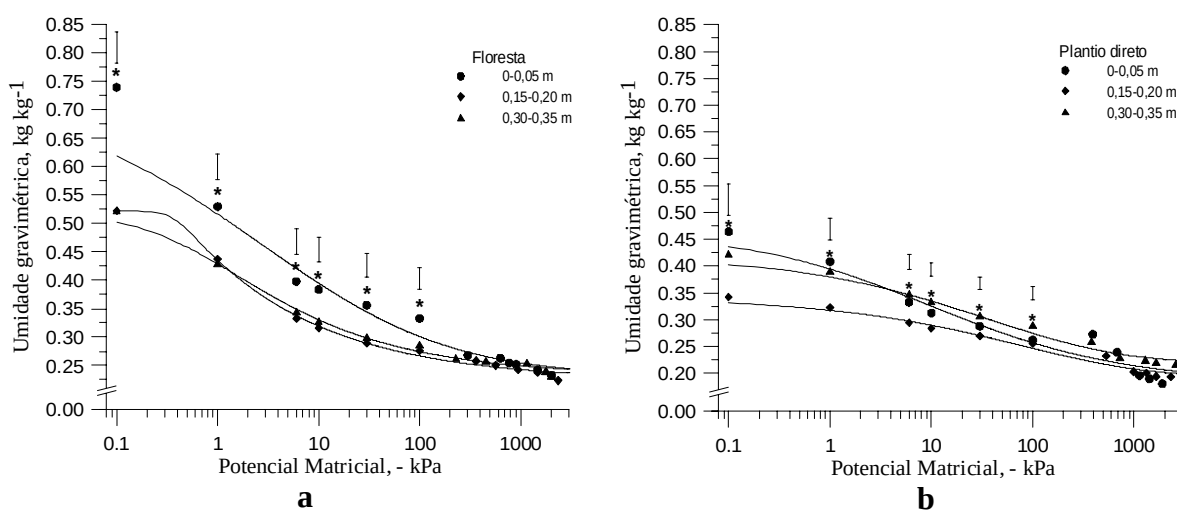


Figura 1 – Curva de retenção de água ajustada pelo modelo de Van Genuchten, para o Latossolo Vermelho eutrófico sob dois usos, floresta (a) e plantio direto (b), em três camadas *Significativa pelo teste DMS a 5% de probabilidade de erro.

A compactação modificou a CRA onde, para a mesma camada (0,15 a 0,20 m) observou-se menor teor de água retido até o potencial matricial de -30 kPa em relação as demais profundidades (Figura 1b). Portanto, para a camada do solo mais compactada observa-se uma mudança na forma da CRA em relação às curvas das demais camadas do solo. Como o índice S representa a inclinação da curva de retenção no ponto de inflexão, o mesmo foi sensível à mudança na forma da CRA. Isso pode ser visualizado na Tabela 3, onde a camada de solo mais compactada apresentou o menor valor para o parâmetro S. Esse valor $S = 0,020$ representa a extremidade inferior da classe dos solos com baixa qualidade física (Dexter 2004 a). Segundo o autor valores de $S > 0,020$ estão associados a solos com condições físicas muito pobres.

Tabela 3 – Índice S para o Latossolo Vermelho eutrófico sob plantio direto e floresta, calculado a partir das curvas de retenção de água

Camada (m)	Parâmetro S	
	Floresta	Plantio direto
0-0,05	0,054	0,033
0,15-0,20	0,079	0,020
0,30-0,35	0,046	0,027

Para o Latossolo Vermelho eutrófico sob floresta, a menor D_s e maior Mac e P_t foram encontrados na camada de 0 a 0,05 m do solo. A maior quantidade de material orgânico na superfície, consequência do maior crescimento de raízes e incorporação de liteira, justificam a

menor D_s na camada mais superficial de solos sob floresta (Mello Ivo & Ross, 2006). A maior porosidade na camada superficial do solo sob floresta modificou a CRA, que apresentou maior teor de água retido até o potencial matricial de -100 kPa, em relação às demais camadas do solo (Figura 1a).

No solo sob floresta, o índice S foi maior para a camada de $0,10$ a $0,20$ m (Tabela 3). Nessa camada, a D_s foi maior e a Mac menor que na camada superficial (0 a $0,05$ m). Isso demonstra que o índice S não necessariamente diminui com o aumento da D_s . Dexter (2004 a) considera que, em determinados solos que tenham espaços interagregados muito grandes para reter água e aparecer na CRA, a compactação leve do solo desintegra os agregados maiores reduzindo os espaços interagregados, aumentando a retenção de água e o valor de S . Trabalhando com um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com milho sob preparo convencional e plantio direto, Tormena & Silva (2004) encontraram valores menores de S na amostra coletada na linha de plantio no preparo convencional. Os autores atribuíram isso à excessiva drenagem do solo resultante da redução da densidade pelo intenso revolvimento do solo, gerando um excessivo espaço poroso interagregados.

Embora as considerações da literatura façam uma associação inversa entre espaços interagregados e teor de água retido, observa-se que não foi o que ocorreu na camada de 0 a $0,05$ m (Figura 1a), pois a mesma apresentou maior teor de água retido até o potencial de -100 kPa se comparado à camada $0,15$ a $0,20$ m. Atribui-se o maior valor de S na camada de $0,15$ a $0,20$ m ao ajuste da CRA, que apresentou alto teor de água na saturação e no potencial matricial de -1 kPa, seguido de uma redução acentuada para os potenciais de -6 , -10 e -30 kPa, e estabilizando-se para potenciais matriciais menores. Isso fez com que a forma e o ajuste dessa CRA tivesse uma inclinação maior no ponto de inflexão, se comparado à CRA da camada de 0 a $0,05$ m (Figura 1a). Por isso, sugere-se que sempre quando forem apresentados os valores do parâmetro S para determinado solo, junto também sejam apresentadas as CRAs que deram origem a esses valores.

Verificou-se que os valores do índice S foram maiores no solo sob floresta quando comparados ao solo cultivado sob plantio direto (Tabela 3). O maior valor S na floresta indica uma melhor configuração de poros no solo e, portanto, menor restrição física para o crescimento das raízes das plantas, quer seja por aeração, restrição mecânica ou por características de retenção de água. Silva (2004), trabalhando com Latossolo Vermelho Amarelo sob duas condições de uso, floresta e pomar de laranja, encontrou valores de S de $0,107$, para a floresta, e $0,026$, para o pomar. Segundo o autor, isso demonstra que o solo na floresta possui uma qualidade estrutural superior em relação ao solo do pomar, o qual

apresenta área trafegada pelas máquinas agrícolas com maior densidade do solo em função da compactação e, conseqüentemente, uma estrutura física degradada.

Os resultados confirmam o potencial do índice S em identificar variações na qualidade física do solo, principalmente entre sistemas de manejo diferentes.

2.4.2 Comportamento do índice S em relação ao teor de argila

O comportamento do parâmetro S em função do teor de argila dos solos é mostrado na Figura 2. Não foi observada relação do S com o teor de argila para os solos avaliados. Buscando-se separar o efeito do uso do solo, que pode mascarar e influenciar o efeito da argila sobre o índice S, separaram-se os solos representados na Figura 2 conforme seu uso, gerando a Figura 3a e 3b.

Assim, mesmo separando os solos conforme seu uso, o valor do índice S não foi associado ao teor de argila, ou seja, não houve relação entre o teor de argila e o valor de S para os solos utilizados no presente trabalho. No entanto, para os solos sob campo nativo e floresta (Figura 3b), ocorreu uma dispersão maior dos valores de S quando comparado aos solos sob plantio direto (Figura 3a). Possivelmente, isso seja reflexo do manejo ao qual esses solos estão submetidos, corroborando com as afirmações de Dexter (2004 a) e Silva (2004), de que o índice S é um bom fator para avaliar diferentes sistemas de manejo do solo.

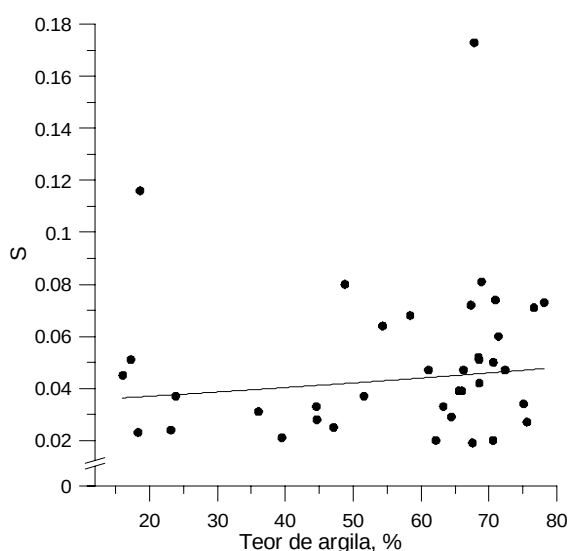


Figura 2 – Comportamento do índice S em função do teor de argila para diferentes solos do sul do Brasil (o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)

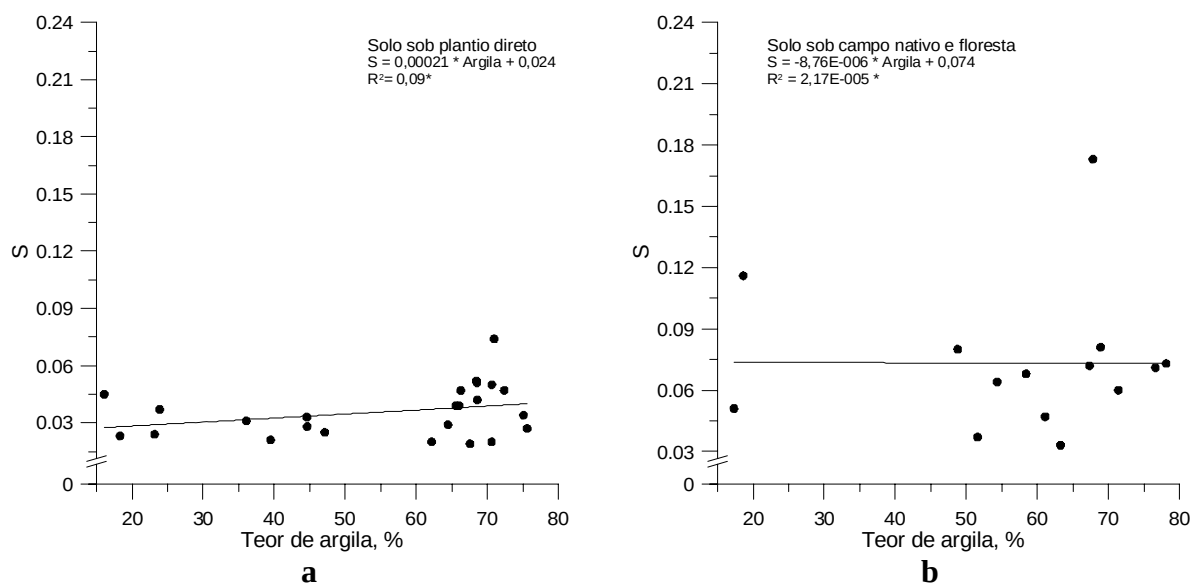


Figura 3 – Comportamento do índice S em função do teor de argila para solos sob diferentes usos (* o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)

2.4.3 Comportamento do índice S em relação à densidade do solo

Com o aumento da D_s do solo ocorreu redução do valor do índice S (Figura 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Dexter (2004 a), em solos da Espanha com aproximadamente 27% de argila. O autor encontrou decréscimo linear do valor de S em função do aumento da D_s . No presente trabalho, encontrou-se para o grupo de solos argilosos e muito argilosos um comportamento exponencial decrescente do índice S em função do aumento da D_s .

Com o aumento da D_s há uma redução do volume de poros. Segundo Horn et al. (1995), nesse processo os poros grandes são destruídos primeiro (poros interagregados), para depois ocorrer a destruição dos próprios agregados e, por consequência, dos poros menores (poros intragregados). Com o aumento da D_s solo, há uma redução do teor de água nos potenciais mais altos próximos à saturação (θ_{sat}) e um aumento do teor de água retido a potenciais menores próximos de -1500 kPa. Segundo Silva (2004), um exame das CRA na literatura mostra que a degradação física do solo conduz sempre a uma mudança na forma das curvas, com uma redução da inclinação da CRA no ponto de inflexão.

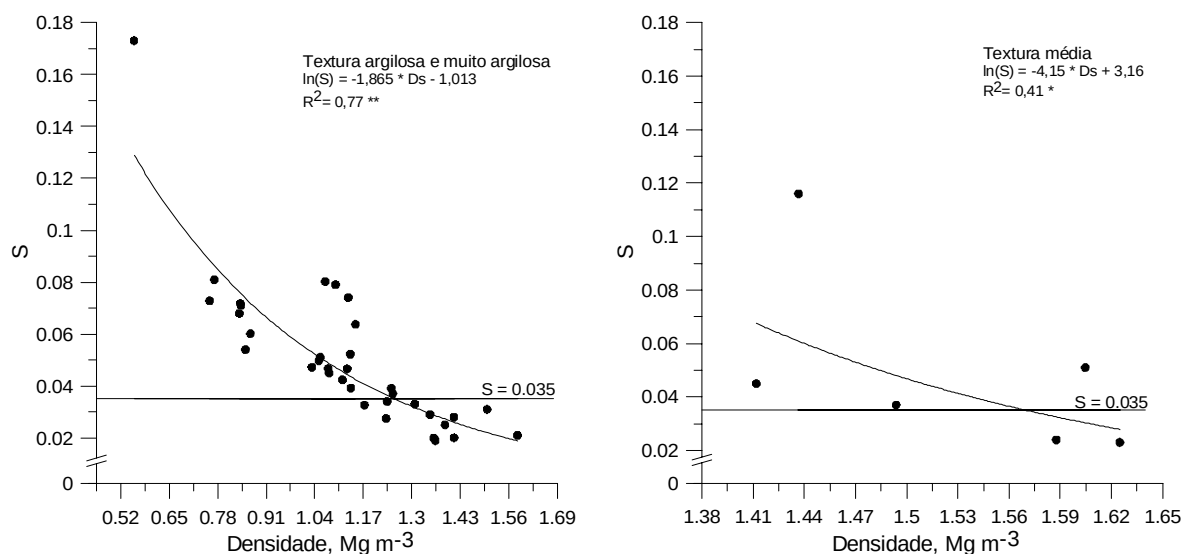


Figura 4 – Comportamento do índice S em função da densidade do solo (Mg m⁻³) para dois grupos texturais de solos (e * representam respectivamente, que o modelo ajustado é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F e, que o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)**

Verifica-se que para os solos de textura argilosa e muito argilosa o valor de Ds onde $S = 0,035$ foi de 1,25 Mg m⁻³. Essa Ds pode ser considerada como crítica, pois valores maiores representam $S < 0,035$, indicando solos de estrutura pobre. Esse valor está próximo dos valores de Ds definidos como críticos por Reichert et al. (2003), que utilizaram o intervalo hídrico ótimo (IHO) e definiram a Ds crítica quando $IHO = 0$. Os autores apresentaram um triângulo textural onde definiram a faixa de densidades de 1,25 a 1,30 Mg m⁻³ como crítica para solos da classe textural muito argilosa.

2.4.4 Comportamento do índice S em relação ao teor de matéria orgânica do solo

Os valores de S foram dependentes dos teores de MOS para o grupo de solos com textura argilosa e muito argilosos (Figura 5). Nesse caso, o modelo exponencial crescente apresentou o melhor ajuste. Para o grupamento textura média, não ocorreu efeito do teor de MOS sobre o índice S. Esses resultados discordam parcialmente daqueles encontrados por Dexter (2004 a), que trabalhando com solos da Inglaterra (Highfield com 25% de argila) e da Polônia (Grabów com 4% de argila), encontrou uma relação linear do valor de S com o aumento do teor de MOS e, um efeito maior do teor de MOS sobre o valor de S no solo Grabów com menor teor de argila, se comparado ao solo com maior teor de argila (Highfield). No presente trabalho não se observou essa tendência para os solos de textura média, pois esses não apresentaram efeito da MOS sobre o índice S. Possivelmente, isso seja devido à

expressão de outros fatores sobre o índice S, como o efeito do manejo empregado. Esse é o caso do solo sob campo nativo, que mesmo possuindo baixo teor de MOS pode apresentar um sistema poroso contínuo e estável por apresentar-se permanentemente coberto por gramíneas com sistema radicular vigoroso, e por nunca ter sofrido mobilização.

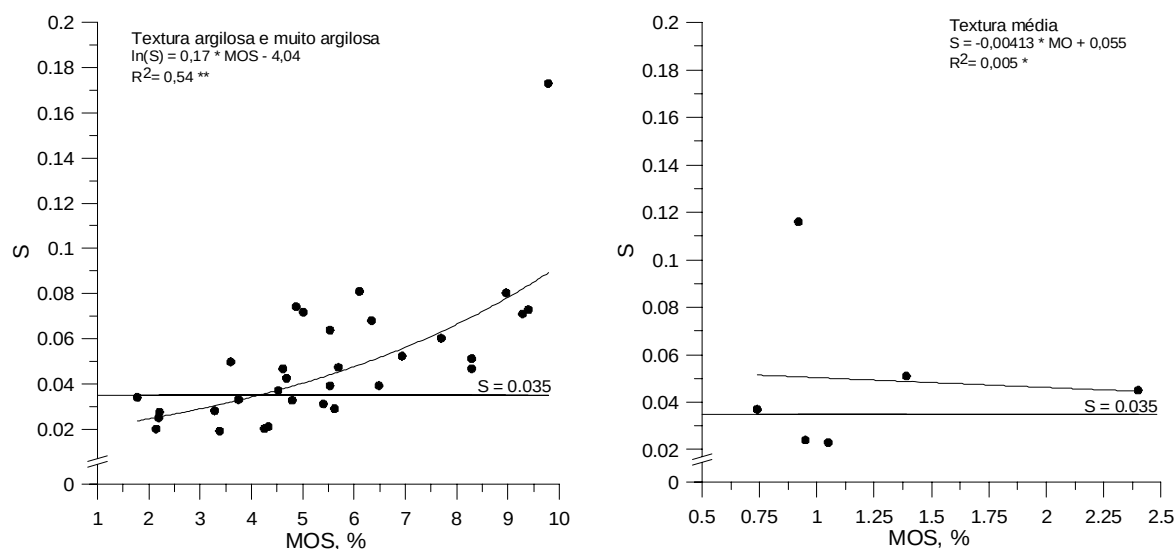


Figura 5 – Comportamento do índice S em função do teor de matéria orgânica do solo (MOS, %) para dois grupos texturais de solos (e * representam respectivamente, que o modelo ajustado é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F e, que o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)**

Para o grupo textural argiloso e muito argiloso o valor de MOS no ponto onde a curva intercepta $S = 0,035$ foi de 4 % (Figura 5), e pode ser considerado como teor de MOS crítico para que se tenha o solo com boa qualidade física. Loveland & Webb (2003) afirmam que a maioria dos cientistas de solo assumem o valor de 3,4 % de MOS como crítico para solos de regiões de clima temperado. No entanto, em sua revisão de literatura esses autores não encontraram um nível crítico de MOS abaixo do qual a estrutura do solo entra em colapso. Apesar disso, encontra-se uma vasta literatura que associa a redução da qualidade física do solo com a redução do teor de MOS.

2.4.5 Comportamento do índice S em relação ao teor de argila dispersa

Os valores de S não foram dependentes do teor de argila dispersa em água para nenhum dos grupamentos texturais (Figura 6). Atribui-se isso aos diferentes usos aos quais os solos foram submetidos, no presente caso, plantio direto estabilizado, floresta e campo nativo. Esses usos do solo favorecem o acúmulo de MOS, principalmente na camada superficial. O acúmulo de MOS condiciona menores concentrações de argila dispersa em água, maior

agregação e, conseqüentemente maior porosidade total (Campos et al., 1995; Nascimento et al., 2005). Portanto, não existe uma relação consistente entre o valor de argila dispersa e o índice S para os solos utilizados neste trabalho.

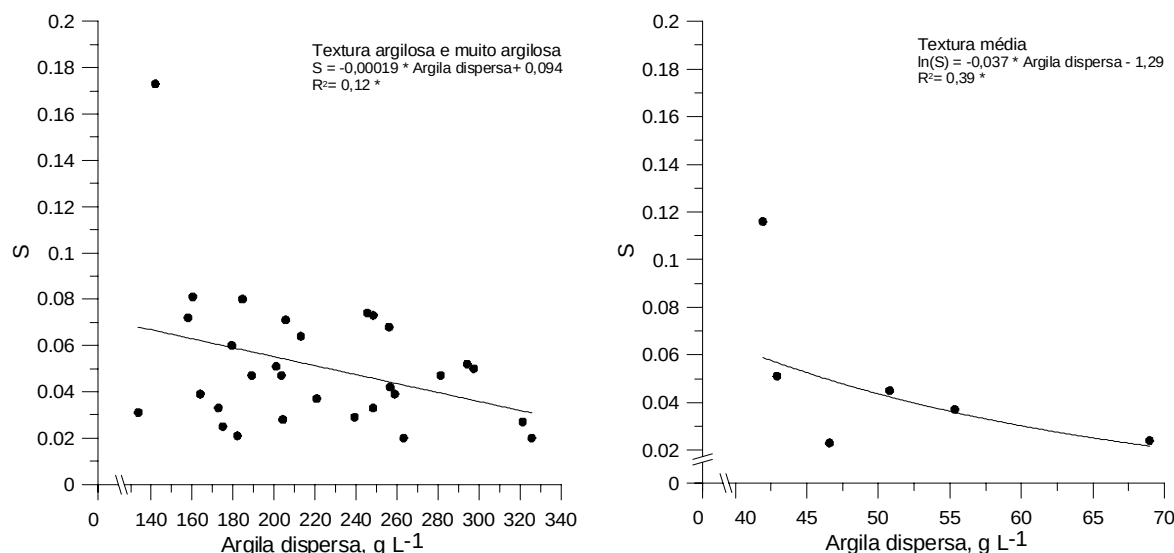


Figura 6 – Comportamento do índice S em função da argila dispersa (g L^{-1}) para dois grupos texturais de solos (* o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)

Esses resultados se opõem ao encontrado por Gate et al. (2006), que trabalharam com cinco solos da Polônia e encontraram no primeiro ano de trabalho, uma acentuada redução do índice S com o aumento do teor de argila dispersa do solo, até atingir um determinado valor a partir do qual a redução do valor de S se estabilizou. Esses autores repetiram o mesmo trabalho no segundo ano quando não obtiveram relação entre argila dispersa e o valor de S. Atribuíram isso ao alto conteúdo de água com o qual foram coletadas as amostras no segundo ano. Isso mostra que, mesmo para solos cultivados com o preparo convencional, ainda não é clara a relação entre argila dispersa e o valor de S, podendo a relação também estar sendo influenciada por outros fatores. A forma de quantificar a argila dispersa também foi muito diferente, Gate et al. (2006) utilizaram um método baseado na turbidimetria e que utiliza uma quantidade muito pequena de solo (5g) agitado com 125 mL de água.

2.4.6 Água disponível às plantas e pressão de pré-consolidação em função do índice S

A estrutura do solo determina a permeabilidade e o conteúdo de água disponível para as plantas (ADP). A estrutura do solo é um fator importante na determinação do conteúdo de água na capacidade de campo, por controlar a distribuição do tamanho de poros e a retenção de água contra a força da gravidade em valores altos de potencial matricial. Li et al. (2006) encontraram, na camada de 0-0,5 m de um Vertissolo sob tráfego controlado, um incremento de 11,5% na ADP e um aumento de 9,4 % na produtividade das culturas de inverno e verão, quando comparado às parcelas que receberam tráfego em toda área. Os autores atribuíram o aumento na produtividade das culturas a maior ADP nas parcelas com tráfego controlado, pois nessas parcelas a estrutura do solo não foi degradada pelo tráfego de máquinas.

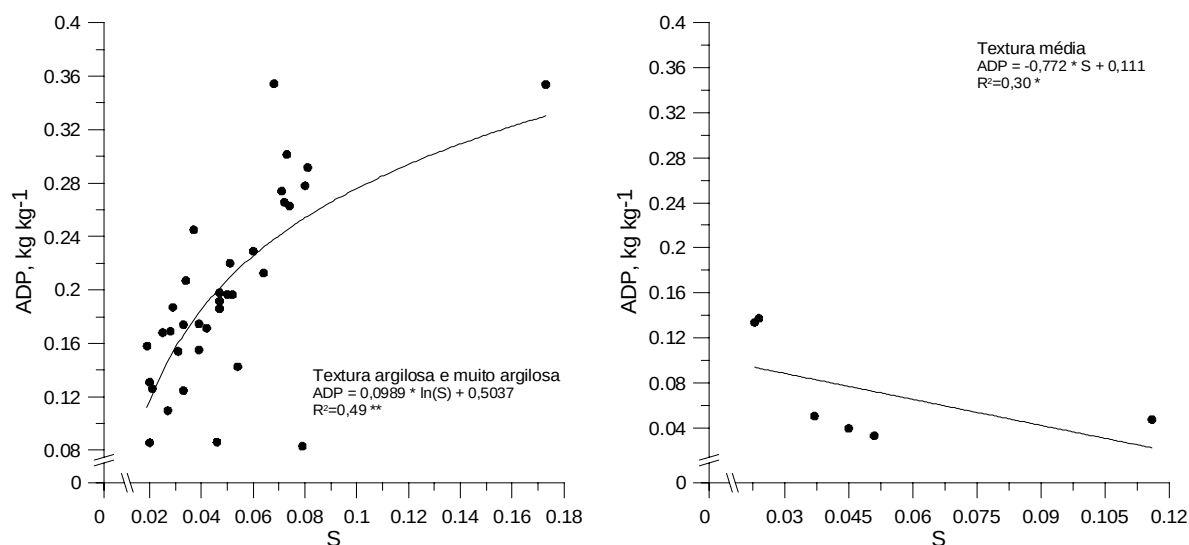


Figura 7 – Comportamento da água disponível as plantas (kg kg⁻¹) em função do índice S para dois grupos texturais de solos (e * representam respectivamente, que o modelo ajustado é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F e, que o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)**

O comportamento da ADP em relação ao índice S é mostrado na Figura 7. O modelo logarítmico crescente apresentou o melhor ajuste entre ADP e o índice S para o grupamento dos solos de textura argilosa e muito argilosa. Gate et al. (2006) trabalharam com os solos da Polônia e encontraram um aumento linear da ADP com o aumento do índice S. Para o grupamento de solos de textura média não se obteve uma relação significativa entre ADP e o índice S.

O comportamento da pressão de pré-consolidação (σ_p) em função do índice S é apresentado na Figura 8. Para os solos de textura argilosa e muito argilosa a σ_p decresceu exponencialmente com o aumento do índice S, o que é atribuído à variação na Ds, que

diminui para valores crescentes de S . Como já foi discutido anteriormente, solos bem estruturados com índice S elevado, apresentam D_s baixa e a σ_p é influenciada pela D_s (Imhoff et al. 2004). Alexandrou & Earl (1998) encontraram uma relação linear e positiva entre σ_p e a D_s , ou seja, valores menores de D_s estiveram associados à menor capacidade de suporte do solo (menor σ_p). Kondo & Dias Junior (1999) encontraram maior σ_p em solo cultivado com culturas anuais do que em solo sob pastagem e mata natural e atribuíram isso à degradação da estrutura do solo pelo cultivo intensivo. Geralmente, valores altos de σ_p estão associados a altos valores de D_s e, portanto, o valor de S será baixo, indicando a degradação da estrutura do solo.

O agrupamento de textura média não apresentou relação entre σ_p e o índice S .

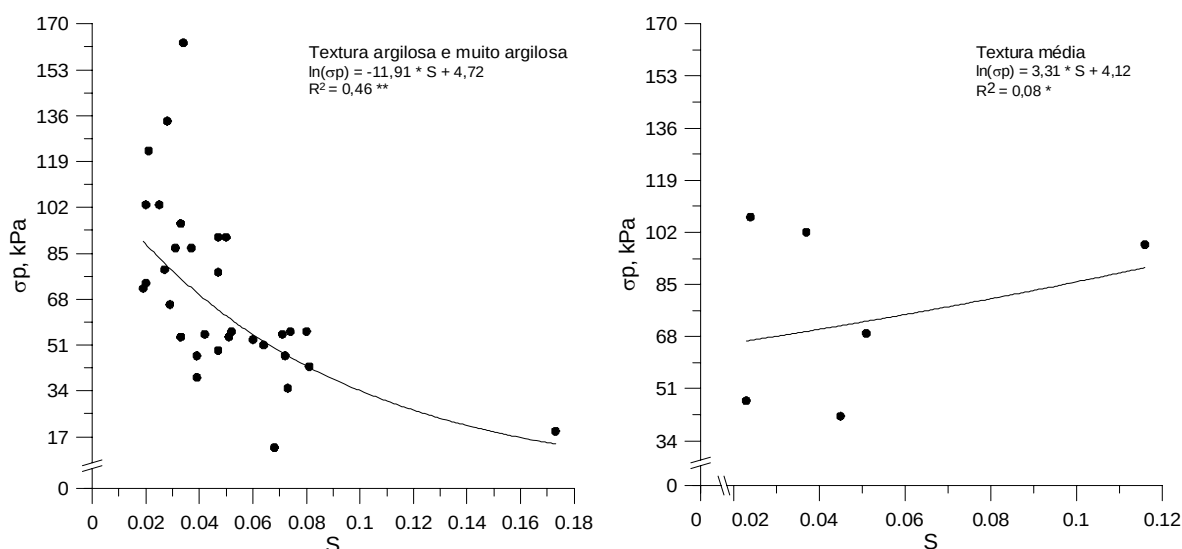


Figura 8 – Comportamento da pressão de pré-consolidação (kPa) em função do índice S para dois grupos texturais de solos (e * representam respectivamente, que o modelo ajustado é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F e, que o modelo ajustado não é significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F)**

2.5 Conclusões

1. O índice S foi sensível as variações na qualidade física do solo impostas pelo uso.
2. Solos que apresentam elevada retenção de água, em potenciais matriciais altos, e acentuada redução do conteúdo de água, em potenciais intermediários, podem gerar valores de S que não representam a real condição física do solo, assim o valor de S deve estar acompanhado da representação da CRA.
3. O índice S não sofreu influência do teor de argila total e nem do teor de argila dispersa dos solos.

4. O índice S decresceu exponencialmente com o aumento da Ds e aumentou exponencialmente com o aumento do teor de MOS nos solos de textura argilosa e muito argilosa.
5. Para o grupo de solos com textura argilosa e muito argilosa a ADP apresentou aumento logarítmico crescente com aumento dos valores de S e, σ_p decresceu exponencialmente com o aumento do valor do índice S.

2.6 Referências bibliográficas

ALEXANDROU, A.; EARL, R. The relationship among the pre-compaction stress, volumetric water content and initial dry bulk density of soil. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 71, p. 75-80, 1998.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.121-125, 1995.

SILVA, A.P. Interação manejo versus física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15°, 2004, Santa Maria-RS. **Palestra em CD-ROM...**Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004a.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215-225, 2004b.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, v.120, p. 227-239, 2004c.

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, v. 1, p. 92-102, 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

GATE, O. P.; CZYZ, E. A.; DEXTER, A. R. Soil physical quality, S as a basis for relationships between some key physical properties of arable soils.. In: HORN, R.; FLEIGE, H.; PETH, S. & PENG, X. **Soil management for sustainability**. Reiskirchen: Catena Verlag, p.102-109, 2006.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Tillage Research**, v. 35, p. 23-26, 1995.

IMHOFF, S. et al. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 17-24, 2004.

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

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 211-218, 1999.

LI, Y. X.; TULLBERG, J. N.; FREEBAIRN, D. M. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. **Soil Tillage Research**, v. 97, p. 282-292, 2007.

MELLO IVO, W. M. P.; ROSS, S. Efeito da colheita seletiva de madeira sobre algumas características físicas de um Latossolo Amarelo sob floresta na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 769-776, 2006.

NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

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

REINERT, D.J. et al. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16º, 2006, Aracaju. **Resumos e Palestras em CD-ROM...** Aracaju: 2006. 1 CD-ROM.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS/STAT. **Procedure guide for personal computers**. 5.ed. Cary, NC: SAS Inst. 1999. 334p.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Avaliação da qualidade física de um solo utilizando o parâmetro S. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15º, 2004, Santa Maria-RS. **Anais...** Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

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

3. CAPÍTULO II INFLUÊNCIA DO MANEJO NO FLUXO DE ÁGUA E AR DO SOLO

3.1 Resumo

A estrutura do solo é definida pela sua condição física, expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. Com o aumento do tempo de uso do sistema plantio direto, a estrutura do solo tem sido modificada pela repetitividade das operações agrícolas realizadas ao longo dos anos. As modificações na estrutura do solo relacionadas ao manejo, e sua expressão sobre as propriedades físicas que afetam o crescimento das plantas, ainda não estão bem elucidadas. O presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações no diâmetro dos poros e suas implicações na condutividade hidráulica saturada e na condutividade do ar, de sete solos de expressiva importância agrícola para o sul do Brasil, submetidos a diferentes usos. Foram utilizados os solos: Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico, Latossolo Bruno aluminico, Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico. Os usos foram: condição natural, representada pela mata nativa ou campo nativo, e condição de lavoura, manejada sob plantio direto. A alta estruturação do solo na mata nativa favoreceu a presença de poros grandes e menor quantidade de poros de tamanho intermediário. Constatou-se que todos os solos sob cultivo apresentaram compactação, com variação quanto à intensidade e posição da camada compactada. O cultivo aumentou a densidade e reduziu a porosidade total, alterou a distribuição do diâmetro de poros com aumento da quantidade de poros pequenos em detrimento dos poros maiores, com conseqüente redução da condutividade hidráulica saturada e da condutividade do ar no solo. Nas camadas mais compactadas do plantio direto se verificou a redução da classe de poros de tamanho intermediário e o aumento da quantidade de poros pequenos.

3.2 Introdução

A estrutura dos solos, de acordo com Baver et al. (1972), se constitui de massas de partículas secundárias (agregados), nas quais há duas classes de poros: microporos dentro dos

agregados e macroporos entre os agregados. Num solo com boa qualidade física espera-se encontrar uma rede de poros contínua e com ampla variação de diâmetros, que proporcione boa drenagem, aeração, que mantenha um adequado teor de água disponível para as plantas, que facilite a penetração das raízes e permita as trocas de gases e temperatura.

A compactação antropogênica devido ao tráfego de máquinas sobre o solo se constitui na maior causa da degradação física dos solos agrícolas (Hakansson & Lipiec, 2000). A degradação da estrutura do solo tem provocado efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção das culturas agrícolas (Camargo & Alleoni, 1997). A degradação da estrutura do solo altera a arquitetura dos poros, e quando o volume, dimensão e configuração dos poros do solo são afetados, o movimento de massa e energia no ambiente do solo sofrem o mesmo efeito (Hakansson & Lipiec, 2000). Segundo Klein & Libardi (2002), as principais conseqüências da compactação nas propriedades físicas do solo são o aumento da densidade, diminuição do tamanho dos poros e redução da condutividade hidráulica.

Os macroporos do solo são rapidamente drenados e representam a porosidade de aeração quando o teor de umidade estiver na capacidade de campo. A porosidade de aeração representa a razão entre o volume de ar e o volume do solo, sendo, portanto, afetado pela umidade e pela compactação do solo (Hillel, 1998). Na literatura vários trabalhos demonstram que no processo de compactação do solo, ocorre aumento na densidade com redução, ou total desaparecimento dos poros grandes do solo (Hill et al., 1985; Klein & Libardi, 2002; Tarawally et al., 2004; Silva et al., 2005). Por outro lado, assume-se que a porosidade de aeração mínima a partir da qual as raízes da maioria das culturas podem se desenvolver deve ser ao redor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Kiehl, 1979; Klein & Libardi, 2002).

O transporte de gases no solo é governado principalmente por dois processos: a convecção e a difusão (Hillel, 1998). Segundo esse autor a permeabilidade do ar é o coeficiente que governa o fluxo convectivo do ar no solo, e está relacionado ao tamanho e continuidade da porosidade de aeração do solo. A permeabilidade do ar não é apenas importante para aeração do solo, mas também é um indicador que revela as mudanças na eficiência e funcionalidade do sistema poroso, conforme a deformação (Peth & Horn, 2006). Vários autores encontraram que a permeabilidade do ar é dominada pela geometria e pelo grau de saturação dos macroporos (Barden & Pavlakis, 1971; Kirby, 1991).

O objetivo deste trabalho foi estudar as alterações no diâmetro dos poros e suas implicações na condutividade hidráulica saturada e na condutividade do ar no solo, de solos submetidos a diferentes usos.

3.3 Material e métodos

Neste estudo os locais de coleta, os solos e os usos são os mesmos descritos no Capítulo I. As curvas de retenção de água no solo também foram obtidas conforme descrito no capítulo anterior. Utilizaram-se os seguintes solos: (1) Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), coletado no município de Missal - PR; (2) Latossolo Vermelho aluminoférrico (LVaf), coletado no município de Pato Branco – PR; (3) Nitossolo Vermelho distrófico (NVd), coletado no município de Campos Novos – SC; (4) Latossolo Bruno aluminico (LBa), coletado no município de Vacaria – RS; (5) Latossolo Vermelho distrófico de textura média (LVd textura média), coletado no município de Cruz Alta; (6) Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (LVd textura argilosa) coletado no município de Cruz Alta –RS; e (7) Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) coletado no município de Santo Ângelo – RS.

Para os primeiros quatro solos (1 a 4), as camadas amostradas foram as mesmas descritas no Capítulo I. Para os demais solos, sob plantio direto (PD) as camadas foram: 0-0,07; 0,07-0,15; 0,20-0,30; 0,40-0,45 m, para o campo nativo (CN): 0,07-0,15 e 0,40-0,45 m e na mata nativa (MN): 0,07-0,15 m.

A distribuição de diâmetros de poros (DDP) foi obtida a partir das curvas de retenção de água no solo (CRA), conforme Fernandes et al. (1983). Para os solos: Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico, foram determinados poros com diâmetro $\phi \geq 300 \mu\text{m}$, obtido pela diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica do solo no potencial matricial de -1 kPa ; poros com diâmetro $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$, determinados pela diferença entre as umidades volumétricas de -1 kPa e -6 kPa ; poros com diâmetro $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$, obtidos a partir da diferença entre as umidades volumétricas de -6 kPa e -30 kPa ; poros com diâmetro $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$, obtidos a partir da diferença entre as umidades volumétricas de -30 kPa e -100 kPa e poros de diâmetro $\leq 3 \mu\text{m}$, obtidos a partir da diferença entre as umidades volumétricas de -100 kPa e do solo seco. Nos solos: Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico, foram determinados poros com diâmetro $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e poros com diâmetro $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ de forma semelhante ao já descrito acima. Os demais diâmetros de poros foram $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$, obtidos a partir da diferença entre as umidades volumétricas nos potenciais matriciais de -6 kPa e -15 kPa ; poros com diâmetro $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$, obtidos a partir da diferença entre as

umidades volumétricas de –15 kPa e –100 kPa; e poros de diâmetro $\leq 3 \mu\text{m}$, obtidos conforme relatado acima.

Para determinar a condutividade hidráulica saturada (K_s) foi utilizado um permeâmetro de carga variável (Apêndice G), conforme descrito em Hartge & Horn (1992). As amostras foram postas numa bacia com o fundo coberto de tela e saturadas por ascensão capilar. Depois de completamente saturadas foram cobertas por uma lamina de água de altura pré-definida. Na sequência encaixou-se a cápsula do permeâmetro sobre a amostra e inflou-se o anel de vedação de borracha colocado na parte interna da cápsula, vedando a cápsula em contato com a parede do cilindro da amostra. Após foram realizadas três leituras em sequência na mesma amostra. Para calcular a condutividade hidráulica saturada usou-se uma adaptação da Equação de Darcy (Equação 3):

$$K_s = (d h/t A) \ln[h_0/h_1] \quad (3)$$

Onde:

K_s = condutividade hidráulica saturada (cm s^{-1})

d = diâmetro do tubo capilar utilizado (cm^2)

h = altura da amostra (cm)

A = área da amostra (cm^2)

h_0, h_1 = altura da carga hidráulica quando do início e final da leitura (cm)

t = tempo (s) decorrido entre h_0 e h_1

A condutividade do ar no solo (K_i) foi determinada utilizando-se um permeâmetro de aplicação constante da pressão do ar (Figura 9). O equipamento é composto por uma série de fluxímetros com diferentes vazões, por onde o ar flui antes de passar pela amostra de solo. O ar é aplicado a pressão baixa (0,1 kPa) e constante para evitar fluxo turbulento. O gradiente de pressão entre o ambiente e o ar que flui pela amostra de solo é medido por um manômetro de água. Maiores detalhes técnicos sobre o equipamento e seu funcionamento estão descritos em Vossbrink (2004).

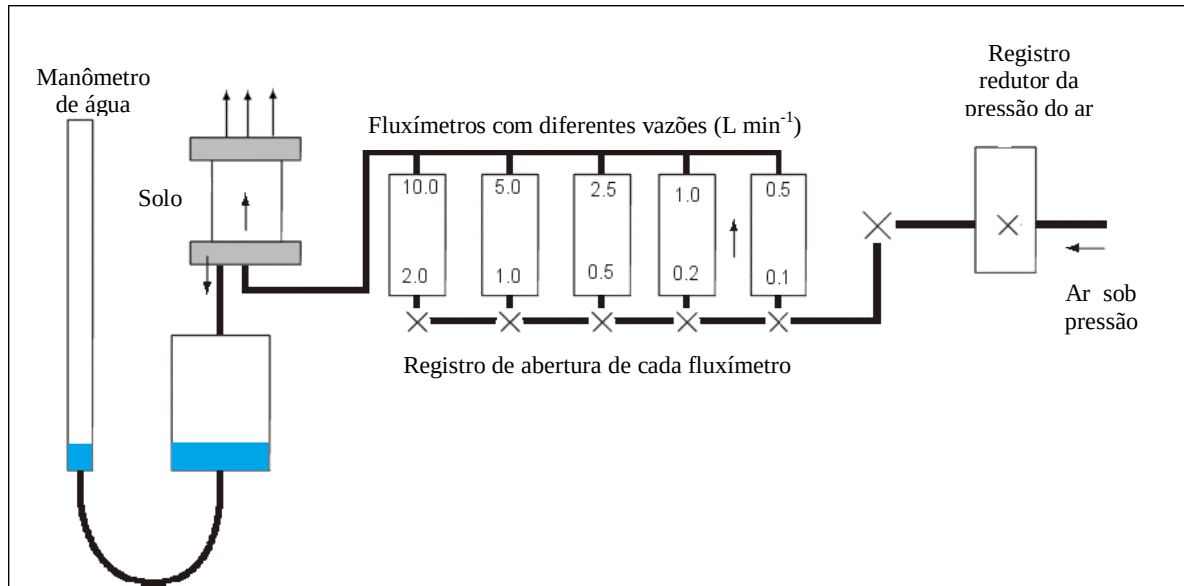


Figura 9 – Permeâmetro utilizado para determinação da condutividade do ar no solo (K_l) em amostras de estrutura preservada

Para o cálculo da condutividade do ar foram utilizadas as Equação 4 e 5:

$$K_l = \rho_l g (\Delta V l / \Delta t \Delta p A) \quad (4)$$

Onde:

K_l = condutividade do ar (m s⁻¹)

ρ_l = densidade do ar (kg m⁻³)

g = aceleração da gravidade (m s⁻²)

ΔV = o volume de ar (m³) que flui pela amostra no Δt

Δt = intervalo de tempo (s)

l = comprimento da amostra (m)

Δp = pressão de passagem do ar (1 cm)

A = Área transversal da amostra (m²)

Como a densidade do ar varia com a variação da pressão atmosférica e da temperatura, foi feita a correção da densidade do ar em função das condições predominantes no momento da medição do fluxo, para tal se utilizou a Equação 5:

$$\rho_l = \rho_n (T_n p / p_n T) \quad (5)$$

Onde:

ρ_n = densidade do ar (kg m^{-3}) numa condição padrão (1013 mbar; 273,15°K)

p = pressão atmosférica (mbar) no momento em que foi feita medição

T = Temperatura (°C) no momento em que foi feita medição

As amostras utilizadas na determinação da condutividade do ar no solo (K_l), foram previamente saturadas por capilaridade por um período de 48 horas, na sequência foram equilibradas no potencial matricial de -6 kPa em mesa de areia, para daí determinar K_l .

As variáveis: densidade, porosidade total e DDP, foram submetidas à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste Duncan a 5%, usando o pacote estatístico SAS (SAS Institute, 1999). Os dados de K_s e K_l não apresentaram distribuição normal, enquanto os logaritmos dos valores apresentaram distribuição normal, avaliado pelo teste de Shapiro-Wilk. Após a transformação foi realizada a comparação de médias com teste Duncan a 5%.

3.4 Resultados e discussão

3.4.1 Relação do uso com a densidade e porosidade total dos solos

As densidades dos solos (LVe, LVaf e NVd) sob MN apresentaram diferenças entre profundidades, apenas na camada superficial (0-0,05 m) em relação as demais, devido à influência da liteira (Tabela 4). Esses resultados concordam com os relatados por Klein & Libardi (2002), que trabalhando num Latossolo Vermelho Ácrico sob mata secundária, afirmam que a homogeneidade desta propriedade do solo na condição natural indica a ausência de camadas de impedimento ou de acúmulo de argila. Nesses solos, a porosidade total comportou-se de maneira semelhante à densidade, sendo verificadas diferenças significativas somente para camada superficial (0-0,05 m) comparada com as demais. Nesse caso, a porosidade total sempre foi maior na camada superficial em relação às camadas mais profundas. Isso também foi devido à presença da liteira que fornece matéria orgânica ao solo, conferindo baixa densidade e alta porosidade total a camada superficial. A liteira é a principal fonte de matéria orgânica nos ecossistemas florestais tropicais, propiciando fornecimento de

nutrientes, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e manutenção da estabilidade da estrutura do solo (Conceição et al., 2005).

Para o LBa, onde a condição natural foi representada pelo CN, o comportamento da densidade e porosidade total do solo foi o mesmo dos solos sob MN (Tabela 4). Verificou-se apenas diferença para camada superficial (0-0,05 m) em relação às demais. No CN a presença de grande quantidade de raízes na camada superficial desempenha efeito semelhante a liteira nos solos sob floresta. O que pode ser confirmado pelo alto valor de MOS (Tabela 1, Capítulo I) na camada superficial (0-0,05 m) em relação às camadas mais profundas (0,15-0,20 e 0,30-0,35 m). Esses resultados concordam com Bertol et al. (2004), que trabalhando com um Cambissolo sob diferentes sistemas de manejo encontraram densidade menor no CN, mesmo este sendo pastejado antes da implantação do experimento, comparado ao solo cultivado sob plantio direto. Os autores atribuíram a baixa densidade presente no solo sob CN a presença de grande quantidade de raízes, especialmente próximas à superfície do solo.

Para o PD, nos solos em que ocorreram diferenças entre camadas, geralmente a maior densidade do solo e menor porosidade total estavam na camada de 0,15-0,20 m (Tabela 4). Para o LVe a camada de 0,15-0,20 m do solo apresentou maior densidade e menor porosidade total. Para o LVaf observou-se diferença significativa somente para densidade do solo, onde as camadas de 0-0,05 e 0,15-0,20 m tiveram valores semelhantes, mas foram maiores que a densidade na camada de 0,30-0,35 m. Para o LBa a densidade foi maior na camada de 0,15-0,20 m e não se observou diferença significativa para porosidade total. Esses resultados concordam com a afirmação de Genro Junior et al. (2004), de que, no sistema de plantio direto, a maior compactação se situa até 0,20 m de profundidade.

Na comparação entre usos do solo, observou-se que para os solos onde a condição natural foi representada por MN, nas três camadas avaliadas a densidade do solo foi menor e a porosidade total maior na condição natural em relação ao sistema de manejo PD (Tabela 4). Isso significa que os solos sob PD tiveram a estrutura modificada com alterações significativas na densidade e porosidade total do solo até a profundidade de 0,35 m (maior profundidade avaliada). Isso corrobora com o resultado citado por Klein & Libardi (2002), que trabalhando com um Latossolo Vermelho ácrico, encontraram densidade significativamente superior até a profundidade de 0,40 m no plantio direto irrigado em relação à mata. Os resultados apresentados indicam que no PD está ocorrendo um processo de compactação do solo em profundidade.

Para o LBa onde a condição natural foi representada pelo CN, a densidade do solo foi maior na camada de 0,15-0,20 m sob PD em relação ao CN. Para as demais camadas, não

houve diferença entre usos do solo. A porosidade total diferiu entre usos somente na camada de 0-0,05 m, onde apresentou maior valor no CN em relação ao PD. As raízes abundantes das gramíneas que cobriam a área de pastagem, podem ter sido a causa desta variação (Oliveira et al., 1983), favorecendo maior porosidade total na camada superficial para o CN, embora a densidade do solo não tenha variado entre os sistemas de uso. Esses resultados corroboram com Bertol et al. (2004) que trabalhando com diferentes usos aplicados a um Cambissolo, encontraram na profundidade de 0-0,10 m porosidade total 3% maior no CN em relação à semeadura direta.

No LVd de textura média sob CN não houve diferenças significativas entre as camadas 0,07-0,15 m e 0,40-0,45 m para densidade do solo (Tabela 5). A porosidade total foi maior na camada mais profunda (0,40-0,45 m). Isso pode ser atribuído à compactação do solo causada pelo pisoteio animal, que atingiu a camada de 0,07-0,15 m e não atingiu a camada de 0,40-0,45 m do solo. Santi et al. (2004) encontraram em pastagens cultivadas sobre Latossolo Vermelho Escuro argiloso, que o intenso pisoteio do gado alterou a densidade e a resistência do solo à penetração na camada entre 0 e 0,20 m. Como a compactação do solo pelo pisoteio animal pode ocorrer devido à umidade elevada do solo durante o pastejo, ao sistema contínuo de pastejo, à alta carga animal e à reduzida massa de forragem nas áreas, se uma ou mais dessas condições ocorrerem o CN também será susceptível a compactação do solo.

O LVd textura média sob PD apresentou maior densidade do solo na camada de 0,07-0,15 m, que não diferiu da densidade nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,45 m. A camada de 0-0,07 m apresentou a menor densidade, mas não houve diferença estatística em relação à densidade da camada de 0,40-0,45 m. Segundo Assis & Lanças (2005), tal fato se deve ao maior teor de matéria orgânica nesta camada (Tabela 1, Capítulo I), o que favorece a diminuição da densidade do solo pela maior estruturação. A porosidade total foi maior na camada de 0-0,07 m não diferindo significativamente da porosidade total na camada de 0,40-0,45 m, e diferindo das demais. As camadas de 0,07-0,15 m e 0,20-0,30 m apresentaram os menores valores de porosidade total. Estes resultados demonstram que neste solo, no PD, a camada compactada está concentrada entre 0,07-0,30 m, superando a profundidade de 0,20 m proposta por Genro Junior et al. (2004) como limite até onde se encontraria a maior Ds em PD. Não se encontrou diferença entre os usos do solo nas camadas 0,07-0,15 m e 0,40-0,45 m quanto à densidade e porosidade total do solo. Isso pode ser mais um indicativo de que o solo na condição natural também se apresenta compactado devido ao pisoteio animal.

No LVd textura argilosa sob CN não houve diferença significativa para densidade do solo entre as camadas de 0,07-0,15 m e 0,40-0,45 m (Tabela 5). Já a porosidade total foi

maior na camada de 0,07-0,15 m. Sob PD a maior densidade foi encontrada na camada de 0,07-0,15 m seguido da camada de 0-0,07 m, enquanto os menores valores foram encontradas abaixo dos 0,20 m de profundidade. A porosidade total foi menor na camada 0,07-0,15 m seguida da camada de 0-0,07 m, enquanto as camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,45 m apresentaram os maiores valores. Esses resultados mostram que no LVd textura argilosa sob PD, a camada compactada se situa da superfície até os 0,15 m e que não atingiu profundidades superiores a 0,20 m, concordando com Genro Junior et al. (2004).

Entre usos do solo, na profundidade de 0,07-0,15 m e 0,40-0,45 m, a densidade do solo foi maior no PD e a porosidade total foi maior no CN. Esses resultados mostram que, embora a camada mais compactada tenha se concentrado até 0,15 m, algumas modificações na estrutura puderam ser percebidas até a camada de 0,40-0,45 m no solo sob cultivo. No solo sob CN não ocorreu compactação nas camadas avaliadas, mesmo com a área sendo pastejada por bovinos.

No LVdf, a condição natural foi representada pela MN, onde se avaliou somente a camada de 0,07-0,15 m e, portanto, não foi possível a comparação das características físicas entre diferentes camadas do solo. Neste solo, a densidade sob PD foi menor na camada de 0,40-0,45 m (Tabela 5), enquanto que de 0-30 m concentrou-se a camada compactada com os maiores valores de densidade do solo. A porosidade total foi maior na camada 0,40-0,45 m e não houve diferença significativa em relação à camada superficial (0-0,07 m). Já a menor porosidade total foi encontrada na camada de 0,20-0,30 m. Para camada 0,07-0,15 m perderam-se repetições, por isso não foi possível a comparação. No LVdf somente se determinou diferenças entre sistemas de uso para a densidade do solo na camada de 0,07-0,15 m, que foi menor sob MN quando comparada ao PD.

Tabela 4 – Densidade do solo, porosidade total e distribuição do diâmetro de poros de quatro solos do Sul do Brasil, sob duas condições de uso

Uso	Profun- didade	Densidade	Porosi- dade total	Diâmetro dos poros				
				----- μm -----				
				>300	50-300	10-50	3-10	<3
m		Mg m ⁻³	----- % volume -----					
Latossolo Vermelho eutrófico								
Mata	0-0,05	0,86 bB	63,0 aA	17,8 aA	11,2 aA	3,6 aB	2,0 aB	28,4 aA
	0,15-0,20	1,10 aB	57,1 bA	9,3 bA	11,3 aA	4,8 aA	1,5 aA	30,2 aB
	0,30-0,35	1,08 aB	56,3 bA	10,0 bA	9,0 bA	4,9 aA	1,5 aB	30,9 aB
	CV %	4,2	4	18	16,5	43	26,6	10,5
Plantio direto	0-0,05	1,17 bA	53,6 aB	6,1 aB	8,5 aA	5,2 aA	3,0 aA	30,8 bA
	0,15-0,20	1,42 aA	48,2 bB	2,8 abB	4,0 bB	3,5 bB	1,9 bA	36,1 aA
	0,30-0,35	1,23 bA	51,9 aB	3,9 bB	5,3 bB	5,0 aA	2,3 bA	35,6 aA
	CV %	7,3	3,5	50	32,6	15	29,6	9,4
Latossolo Vermelho aluminoférrico								
Mata	0-0,05	0,56 bB	71,1 aA	19,0 aA	16,8 aA	5,7 aA	1,7 aB	28,1 bB
	0,15-0,20	0,77 aB	66,3 bA	10,8 bA	12,7 aA	7,8 aA	1,8 aA	33,1 aB
	0,30-0,35	0,84 aB	66,2 bA	9,6 bA	12,8 aA	7,0 aA	2,6 aA	34,8 aB
	CV %	7,6	3,8	21,4	24,1	28,3	49,1	5,4
Plantio direto	0-0,05	1,14 aA	55,3 aB	3,2 bB	5,2 aB	6,2 aA	3,5 aA	37,2 aA
	0,15-0,20	1,13 aA	55,9 aB	4,2 abB	5,2 aB	4,9 aB	2,2 bA	39,4 aA
	0,30-0,35	1,05 bA	58 aB	4,9 aB	5,8 aB	5,6 aB	2,4 bA	39,4 aA
	CV %	5,2	4,7	26,5	32,9	19,3	12,9	4,9
Nitossolo Vermelho distrófico								
Mata	0-0,05	0,76 bB	65,2 abA	12,0 aA	8,5 aA	5,1 aA	2,4 aB	37,0 aA
	0,15-0,20	0,84 abB	67 aA	8,8 aA	10,6 aA	6,6 aA	2,8 aA	38,3 aB
	0,30-0,35	0,87 aB	63,5 bA	9,0 aA	9,2 aA	6,1 aA	2,7 aA	36,6 aB
	CV %	8,2	3,7	30,4	18,8	19,3	43,2	7,9
Plantio direto	0-0,05	1,06 aA	56,9 aB	4,2 aB	5,1 aB	5,7 aA	3,3 aA	38,9 aA
	0,15-0,20	1,14 aA	54,4 aB	2,2 aB	3,7 aB	4,1 bB	2,0 bA	42,5 aA
	0,30-0,35	1,03 aA	58,1 aB	4,2 aB	5,5 aB	5,3 abA	2,1 bA	41,1 aA
	CV %	9,9	5,2	37,4	46,2	19,6	23,4	8,2
Latossolo Bruno aluminico								
Campo Nativo	0-0,05	1,07 bA	60,8 aA	2,6 abA	2,9 bA	4,8 aA	3,1 aA	47,5 aA
	0,15-0,20	1,15 aB	55,2 bA	1,7 bA	3,4 bA	4,6 aA	2,7 aA	43,3 bA
	0,30-0,35	1,13 aA	56,5 bA	3,1 aB	4,9 aA	5,2 aA	2,2 aA	41,2 cA
	CV %	2,9	5	31,5	28,8	21,9	31,5	3,1
Plantio direto	0-0,05	1,08 bA	56,4 aB	5,1 aA	5,4 aA	4,8 aA	3,2 aA	38,0 aB
	0,15-0,20	1,25 aA	53,4 aA	2,9 aA	4,5 aA	4,6 aA	2,6 aA	38,8 aB
	0,30-0,35	1,12 bA	56,8 aA	4,7 aA	4,8 aA	5,0 aA	2,1 aA	40,2 aB
	CV %	6,7	4,8	52	49,1	15,5	48	8,3

Letra minúscula, na coluna, compara médias para o mesmo sistema de uso. Letras maiúsculas, na coluna, compara médias entre sistemas de uso para a mesma camada. Médias seguidas de mesma letra minúscula ou maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total e distribuição do diâmetro de poros de três solos do Sul do Brasil, sob duas condições de uso

Uso	Profun- didade	Densidade	Porosi- dade total	Diâmetro dos poros				
				----- μm -----				
				>300	50-300	20-50	3-20	<3
m		Mg m ⁻³	----- % volume -----					
Latossolo Vermelho distrófico textura média								
Campo nativo	0,07-0,15	1,61 aA	33,4 bA	0,6 aB	2,7 bB	8,1 bA	7,7 aA	14,4 aA
	0,40-0,45	1,44 aA	42,2 aA	1,0 aA	6,7 aA	15,4 aA	6,5 aA	12,8 aA
	CV %	5,5	2,0	123	9,5	7,9	7,6	4,7
Plantio direto	0-0,07	1,42 b	42,5 a	2,9 a	6,30 b	11 a	3,7 a	15,7 a
	0,07-0,15	1,62 aA	32,1 bA	1,9 aA	4,5 bA	4,7 bB	2,6 aB	18,4 aA
	0,20-0,30	1,59 a	32,6 b	1,67 a	3,43 b	3,1 b	3,7 a	20,7 a
	0,40-0,45	1,49 abA	40,6 aA	1,8 aA	9,4 aA	5,3 bA	4,0 aA	20,1 aA
	CV %	3,8	4,6	36,3	23,8	47	59	15,8
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa								
Campo nativo	0,07-0,15	1,25 aB	54,3 aA	2,9 aA	5,8 aA	4,3 aA	5,5 aA	35,8 aA
	0,40-0,45	1,31 aB	48,9 bA	0,23 aB	2,8 aA	5,1 aA	5,6 aA	36,2 aA
	CV %	3,8	0,81	104,2	45,7	17,6	6,4	2,9
Plantio direto	0-0,07	1,50 b	41,1 b	2,53 b	1,10 b	0,80 c	5,83 a	30,9 a
	0,07-0,15	1,59 aA	39,0 cB	2,2 bA	2,8 aA	1,5 bB	4,2 bA	28,4 aB
	0,20-0,30	1,41 c	43,6 a	3,13 ab	3,23 a	2,0 ab	5,3 ab	30 a
	0,40-0,45	1,39 cA	44 aB	3,83 aA	3,0 aA	2,1 aB	5,0 abA	30,3 aB
	CV %	2,2	1,4	18,9	22,9	19,9	14,2	4,3
Latossolo Vermelho distroférico								
Mata	0,07-0,15	0,84 A	65,9	16,2 A	11,5 A	7,3	4,3 A	26,8 B
Plantio direto	0-0,07	1,35 a	52,2 a	3,9 a	5,0 ab	2,2 a	2,7 a	40,6 ab
	0,07-0,15	1,36 aB	-	4,4 aB	8,2 aA	-	3,6 aA	36,5 cA
	0,20-0,30	1,36 a	47,8 b	3,9 a	1,1 c	1,23 a	2,8 a	39,1 bc
	0,40-0,45	1,24 b	52,7 a	4,6 a	2,1 bc	2,13 a	2,6 a	42,2 a
	CV %	3,2	3,0	27,7	37,0	47,9	38,6	4

Letra minúscula, na coluna, compara médias para o mesmo sistema de uso. Letras maiúsculas, na coluna, compara médias entre sistemas de uso para a mesma camada. Médias seguidas de mesma letra minúscula ou maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Os diferentes usos provocaram mudanças nas propriedades físicas do solo. Para as áreas sob PD houve aumento da densidade e redução da porosidade total em comparação às áreas sob condição natural (MN e CN). Isso demonstra que o uso do solo no PD está comprometendo a estrutura do solo, inclusive em profundidade, o que poderá comprometer a manutenção desse sistema ao longo do tempo. Isso poderá levar à necessidade de uma intervenção mecânica, como a subsolagem profunda de altos custos, proposta por Raghavan et al. (1990) como possível solução para a compactação subsuperficial.

3.4.2 Relações entre uso e a distribuição do diâmetro de poros dos solos (DDP)

Com relação a DDP, o LVe, LVaf e NVd sob MN tiveram um comportamento similar entre si, apresentando resultados coerentes com os valores de densidade e porosidade total dos solos (Tabela 4). No LVe sob MN, os poros grandes ($\phi \geq 300 \mu\text{m}$) concentraram-se em maior quantidade na camada de 0-0,05 m. Para a classe de poros $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ somente houve diferença significativa na camada de 0,30-0,35 m do solo, que apresentou menor quantidade de poros dessa classe se comparado às camadas de 0-0,05 e 0,15-0,20 m. Esse comportamento dos poros grandes ($\phi \geq 300$ e $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$) se concentrarem superficialmente no solo sob MN, também foi verificado por Klein & Libardi (2002). Esses autores, trabalhando com um Latossolo Vermelho ácrico sob mata secundária, encontraram uma tendência de diminuição dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) em profundidade e, atribuíram isso ao arranjo de poros e à atividade biológica na camada mais superficial do solo na mata.

No LVe sob sistema PD, a quantidade de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ foi maior na camada de 0-0,05 m quando comparada a camada de 0,15-0,20 m e não diferiu da camada de 0,30-0,35 m do solo. A pequena quantidade de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ na camada 0,15-0,20 m é consequência da maior compactação dessa camada em relação às demais, o que é confirmado pelos valores de densidade e porosidade total do solo (Tabela 4). As classes de poros de $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$ predominaram na camada superficial (0-0,05 m) estando em menor quantidade nas demais camadas avaliadas. A classe de poros $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ predominou na camada de 0-0,05 m do solo, não diferiu da camada 0,30-0,35 m e foi menor na camada mais compactada (0,15-0,20 m). A classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ apresentou-se em maior quantidade na camada de 0,15-0,20 m, não diferiu da quantidade desses poros na camada de 0,30-0,35 m, e, foi significativamente superior à quantidade presente na camada de 0-0,05 m do solo. Esses resultados estão coerentes com os dados de densidade e porosidade

total, pois, nas camadas do solo mais compactadas predominou a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$. Outros autores também encontraram um aumento dos poros de menor diâmetro em detrimento dos poros de maior diâmetro com o aumento da densidade do solo (Hill et al., 1985; Startsev & McNabb, 2001; Tarawally et al., 2004).

Para o uso do solo, independente da camada avaliada, a classe de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ predominou no solo sob MN quando comparado ao PD. Os poros da classe $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ também estiveram em maior quantidade no solo sob MN, mas para camada de 0-0,05 m não houve diferença estatística entre o solo sob MN e PD. Isso pode ser atribuído a dois fatores: (a) o acúmulo de restos culturais na superfície do solo sob PD, proporcionando maior teor de MOS na camada superficial, reduzindo a densidade do solo e melhorando sua estruturação; (b) a passagem do mecanismo sulcador da semeadora-adubadora, aliviando a compactação presente, gerando e favorecendo a manutenção de poros maiores. Na camada de 0-0,05 m do solo, os poros da classe $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade sob PD. Isso pode ser atribuído ao predomínio de poros grandes na camada superficial da MN, em detrimento aos poros de tamanho menor. Já na camada de 0,15-0,20 m, os poros da classe $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade no solo sob MN, possivelmente pelo maior nível de compactação dessa camada no PD que favorece a presença de poros menores que os da classe $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$. Na camada de 0,30-0,35 m não houve diferença entre os usos do solo com relação a classe de poros $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$. Os poros da classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$ apresentaram-se em maior quantidade sob PD nas camadas 0-0,05 m e 0,30-0,35 m do solo, quando comparado a MN. Na camada de 0,15-0,20 m não houve diferença entre MN e PD para a classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$. Para a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$, na camada de 0-0,05 m do solo, não houve diferença entre usos do solo. Já para as demais camadas (0,15-0,20 m e 0,30-0,35 m) os poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ predominaram no PD. Isso pode ser atribuído a compactação do solo presente nas camadas do PD.

Para o LVaf sob MN, os poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade na camada de 0-0,05 m do solo. Para as classes $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$, $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$ não houve diferenças entre camadas do solo na MN. Os poros da classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ estiveram em menor quantidade na camada de 0-0,05 m do solo, quando comparado as demais camadas. Sob PD os poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade na camada de 0,30-0,35 m do solo, não diferindo da camada de 0,15-0,20 m e sendo significativamente maior que a quantidade desses poros na camada de 0-0,05 m. Esses resultados estão coerentes com os resultados da densidade do solo no PD (Tabela 4), pois, as camadas de 0-0,05 e 0,15-0,20 m

foram as mais compactadas. Para as classes de poros de $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ não houve diferenças entre camadas para o PD. Para a classe de poros $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$, a maior quantidade de poros estava na camada de 0-0,05 m, sendo maior que nas demais camadas. Para a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ não houve diferença entre as camadas avaliadas. Observou-se no LVaf que os poros grandes (classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$) foram reduzidos nas camadas mais compactadas (0-0,05 m) e houve aumento dos poros de tamanho intermediário (classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$). Outros autores como Tarawally et al. (2004), que trabalharam com um Latossolo Vermelho submetido ao tráfego de máquinas em Cuba, encontraram que os efeitos negativos da compactação sobre as propriedades físico-hídricas do solo, se traduzem num aumento do volume de poros de $\phi < 0,5 \mu\text{m}$ em detrimento da fração de poros com $0,5 \leq \phi \leq 50 \mu\text{m}$ e $\phi > 50 \mu\text{m}$.

Para o uso do solo sob MN e PD, os poros das classes $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$, estavam em maior quantidade no solo sob MN. Para classe de poros $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ na camada de 0-0,05 m não houve diferença entre usos, já para as demais camadas essa classe de poros predominou na MN. O aumento de poros da classe $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ na camada 0-0,05 m do PD, ocorreu possivelmente em detrimento dos poros grandes. Hill et al. (1985) afirmaram que o aumento da densidade no plantio direto ocorre à custa da destruição dos poros grandes ($> 150 \mu\text{m}$ de raio). Para a classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$ somente houve diferença entre usos do solo na camada de 0-0,05 m, onde esses poros estavam em menor quantidade no solo sob MN. Já a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ predominou para todas camadas no PD quando comparado a MN. Esses resultados comprovam que no processo de compactação, ocorre a transformação de macro em microporos (Klein & Libardi, 2002).

Para o NVd sob MN observou-se a tendência de uma maior quantidade de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ na camada de 0-0,05 m (Tabela 4), mas não houve diferença estatística entre profundidades. Atribuiu-se isso a grande variabilidade entre os dados dessa classe de poros do solo ($CV = 30,4 \%$). Isso corrobora com os resultados de Hill et al. (1985) que trabalharam com Molissolos sob diferentes sistemas de cultivos e observaram tendências, mas não encontraram diferenças estatísticas significativas para DDP entre os cultivos. Atribuíram isso a variância entre os dados, que tiveram coeficiente de variação em torno de 20 %. Para as demais classes de poros na MN, também não foram encontradas diferenças significativas entre as camadas do solo avaliadas. Essa uniformidade na DDP entre profundidades do solo pode ser uma característica do NVd. Klein & Libardi (2002) trabalharam com um Latossolo Vermelho ácrico sob mata e encontraram uma tendência de diminuição dos macroporos e

aumento de microporos em profundidade. Essa tendência não foi verificada no NVd, pois não houve diferenças para as classes de poros nas camadas avaliadas.

No NVd sob PD, para as classes de poros que formam os macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$), não houve diferenças entre camadas. Os poros da classe $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade na camada de 0-0,05 m do solo, que não diferiu da camada de 0,30-0,35 m e foi significativamente maior que a quantidade desses poros na camada de 0,15-0,20 m. Os poros pertencentes a classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$ se concentraram em maior quantidade na camada de 0-0,05 m de solo, diferindo em relação as demais camadas. Para a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ não houve diferenças entre camadas no sistema de uso PD.

Entre os usos do solo, os poros com $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade sob MN independentemente da camada do solo considerada. A classe de poros $10 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ se apresentou em menor quantidade na camada de 0,15-0,20 m sob PD, sendo que esta foi a única camada para qual houve diferenças entre os usos do solo. Para a classe $3 \leq \phi < 10 \mu\text{m}$, somente houve diferenças entre os sistemas de uso na profundidade 0-0,05 m, onde, esses poros estavam em menor quantidade no solo sob MN comparado a mesma profundidade do solo sob PD. Os poros pertencentes a classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$, nas camadas de 0,15-0,20 m e 0,30-0,35 m, estiveram em maior quantidade no solo sob PD quando comparado ao solo sob MN. Na camada de 0-0,05 m não houve diferença entre usos do solo para classe de $\phi \leq 3 \mu\text{m}$. Na MN o solo apresentou maior estruturação e predominaram as classes de poros maiores, enquanto no PD a estruturação do solo foi menor e predominaram as classes de poros menores.

No LBa a condição natural foi representada pelo CN e, a proporção dos poros $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ (macroporos) foi menor que nos solos sob MN. Na condição natural, observou-se diferenças entre camadas para as classes de poros: $\phi \geq 300 \mu\text{m}$, $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $\phi \leq 3 \mu\text{m}$. A maior quantidade dos poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ se concentrou na camada de 0,30-0,35 m do solo, que não diferiu significativamente da camada superficial (0-0,05 m) mas foi significativamente maior à quantidade desses poros na camada de 0,15-0,20 m. De forma semelhante a classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$, os poros da classe de $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ também estavam em maior quantidade na camada de 0,30-0,35 m do solo. Os poros da classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ diferiram quanto a quantidade, nas três camadas avaliadas do CN. Estavam em maior proporção na camada de 0-0,05 m, seguido da camada de 0,15-0,20 m e em menor proporção na camada de 0,30-0,35 m. Os resultados permitem inferir que a compactação causada pelo pisoteio dos animais alterou a DDP, principalmente dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) na camada 0-0,20 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Santi et al. (2004) que trabalharam com

Latossolo Vermelho escuro, pastejado por gado leiteiro, e, encontraram aumento da densidade e da resistência á penetração do solo na camada entre 0 e 0,20 m. Moreira et al. (2005), trabalhando com pastagem cultivada sobre um Latossolo Vermelho distrófico, encontraram efeito do pisoteio de bovinos sobre a macroporosidade até a profundidade de 0,075 m e sobre a porosidade total até 0,175 m.

Para o LBa sob PD não houve diferenças significativas entre camadas para a DDP. Isso em parte está associado a grande variabilidade entre os dados, principalmente para as classes de poros de maior diâmetro.

Entre os usos do solo houve diferenças significativas para a classe de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e $\phi \leq 3 \mu\text{m}$. Na camada de 0,30-0,35 m do LBa, houve maior quantidade de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ sob PD do que sob CN. Para as demais camadas não houve diferenças. A classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ foi maior em todas as camadas avaliadas do solo sob CN em relação ao PD. Estes resultados indicam que o solo sob CN apresenta-se compactado o que pode ser confirmado também pelos valores de densidade do solo. Como estes campos naturais são pastejados por bovinos, a compactação é consequência do pisoteio animal. Estes resultados corroboram com Scapini et al. (1997), que encontraram o pisoteio animal como fator mais determinante no aumento do estado de compactação e redução da quantidade de poros grandes em área sob pastagem.

No LVd textura média (Tabela 5), não houve diferença na quantidade de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ entre as camadas de 0,07-0,15 m e 0,40-0,45 m sob CN. Acredita-se que isso seja devido a grande variabilidade entre os dados dessa classe de poros (CV = 123%) que impede a detecção de diferenças significativas entre as camadas avaliadas. Para o mesmo uso do solo, os poros das classes $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ estiveram em maior quantidade na camada 0,40-0,45 m. Nas classes de $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ e $\phi \leq 3 \mu\text{m}$, não houve diferenças significativas entre as duas camadas avaliadas.

No solo sob PD não houve diferenças significativas entre camadas para a classe de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$, o que pode ser atribuído a variabilidade dos dados para essa classe de poros (CV = 36,3 %). Os poros da classe $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade na camada de 0,40-0,45 m, que foi menos afetada pela compactação segundo os resultados de densidade e porosidade total do solo (Tabela 5). Esses resultados concordam com os encontrados por Klein & Libardi (2002), que constataram num Latossolo Vermelho ácrico que o manejo alterou o diâmetro dos poros predominantemente até a profundidade 0,4 m. Os poros da classe $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ encontravam-se em maior quantidade na camada de 0-0,07 m.

Esses resultados confirmam que nas camadas mais compactadas do solo ocorre o colapso dos poros de maior diâmetro (Hill et al., 1985) com aumento dos poros de tamanho intermediário (Silva et al., 2005). Para as classes de poros $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ e $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ não houve diferença significativa para as camadas do solo avaliadas sob PD.

Entre usos, na camada de 0,07-0,15 m os poros das classes $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade sob PD quando comparado ao solo sob CN. Para camada de 0,40-0,45 m, não houve diferenças quanto ao uso do solo para as classes $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$. Os poros das classes $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ apresentaram-se em maior quantidade na camada de 0,07-0,15 m do solo sob CN quando comparado ao solo sob PD. Na camada de 0,40-0,45 m não houve diferença entre usos para as classes $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$. Para a classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ não houve diferenças nas camadas avaliadas. Esses resultados corroboram com a constatação de Bertol et al. (2004), de que o volume de microporos é modificado mais lentamente e em menor intensidade pelo manejo do que o volume de macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$). Os resultados apresentados reforçam a afirmação já proposta de que o CN sofreu um processo de compactação, que chegou até a camada de 0,07-0,15 m e não atingiu a camada mais profunda (0,40-0,45 m). Observando-se a DDP na camada de 0,07-0,15 m para os dois usos, pode-se afirmar que a compactação no CN comprometeu mais o sistema poroso que a compactação na mesma camada do PD, mesmo que a densidade e porosidade total do solo não tenham variado entre os sistemas de uso do solo.

No LVd textura argilosa sob CN (Tabela 5), não se observou diferenças entre classes de diâmetros dos poros nas camadas avaliadas. Isso indica que neste solo não houve compactação por pisoteio animal, pelo menos não nas duas camadas avaliadas. Essa afirmação também é sustentada pelos dados de densidade e porosidade total do solo (Tabela 5). No LVd textura argilosa sob PD, os poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,45 m do solo. Já os poros da classe $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ estiveram em menor quantidade na camada de 0-0,07 m, se comparado com as demais camadas entre as quais não houve diferenças. Poros da classe $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,45 m se comparado as camadas mais superficiais. Os poros da classe $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ estavam em maior quantidade na camada 0-0,07 m, seguido das camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,45 m, e, em menor quantidade na camada de 0,07-0,15 m, que diferiu significativamente quanto a quantidade desses poros da camada de 0-0,07 m. Para a classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ não houve diferença entre as camadas.

Na camada de 0,07-0,15 m não houve diferença entre usos do solo, para a classe de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$, já na camada de 0,40-0,45 m esses poros estavam em maior quantidade sob PD. Não houve diferenças entre usos do solo para a classe de poros de $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$. Os poros da classe $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ predominaram no CN nas duas camadas avaliadas. Para a classe $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ não houve diferenças entre usos, e os poros da classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ predominaram no CN. No CN, embora a densidade do solo seja menor e a porosidade total maior que no PD, quanto à DDP somente as classes de $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ e $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ (poros intermediários e pequenos) estiveram em maior quantidade no CN em relação ao PD. É possível, que a ausência de diferenças entre os usos do solo com relação aos poros grandes, esteja relacionado à ação do pisoteio na superfície, que resultou na maior quantidade de poros de tamanho intermediário e pequeno, em detrimento dos poros grandes. Moreira et al. (2005) trabalharam com pastagens sobre um Latossolo Vermelho distrófico e encontraram que a macroporosidade ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) foi sensível à ação do pisoteio do gado até a profundidade de 0,075 m do solo.

No LVdf sob PD não houve diferenças entre camadas para poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ (Tabela 5). Os poros da classe $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ apresentaram-se em maior quantidade na camada 0-0,15 m do solo. Acredita-se que isso seja devido a grande presença de galerias de corós, o que foi constatado visualmente quando da coleta das amostras. As galerias dos corós absorvem a água das chuvas e são canais abertos para o transporte vertical de nutrientes e de resíduos orgânicos e para o desenvolvimento de raízes no perfil do solo (Gassen, 2000). Para as classes $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ não observou-se diferenças entre camadas. A classe de poros $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ predominou na camada de 0,40-0,45 m não diferindo significativamente da camada de 0-0,07 m. Neste solo, o comportamento da DDP não concordou com os dados da densidade do solo, que mostraram a presença de uma camada compactada da superfície até 0,30 m de profundidade no PD. Acredita-se que as galerias dos corós tenham aliviado o efeito da compactação por serem constituídas de poros grandes e contínuos no solo, o que foi mostrado pela DDP.

Comparando-se os diâmetros dos poros entre usos, na camada de 0,07-0,15 m observou-se que a classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ predominou sob MN (Tabela 5). Para as classes $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $3 \leq \phi < 20 \mu\text{m}$ não houve diferenças entre os usos do solo. Para a classe $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ teve-se problemas com os dados do PD e não foi possível a comparação entre os usos do solo. Os poros da classe $\phi \leq 3 \mu\text{m}$ predominaram sob PD. A maior quantidade de poros grandes ($\phi \geq 300 \mu\text{m}$) observada na MN se deve ao maior teor de matéria orgânica neste

sistema, refletindo em melhorias na estruturação do solo (Centurion et al., 2007). Esses resultados sugerem que quanto melhor for a estruturação do solo, maior será a proporção de poros grandes, e, quanto menor ou mais debilitada for a estrutura, maior a proporção de poros pequenos. Essa relação entre a estruturação dos solos e a DDP também foi verificada nos outros solos deste trabalho.

Os resultados apresentados indicam que a compactação do solo promoveu o aumento da proporção de poros de tamanho intermediário ($3 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$) e/ou pequenos ($\phi \leq 3 \mu\text{m}$), em detrimento da proporção dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$), principalmente dos poros de $\phi \geq 300 \mu\text{m}$.

Para alguns solos observou-se uma menor proporção de poros de tamanho intermediário na camada superficial da MN comparado ao PD. Possivelmente, isso decorreu de duas razões: (I) a grande estruturação do solo na profundidade superficial da MN que favorece a presença de poros grandes ($\phi \geq 300 \mu\text{m}$) ao invés de poros de tamanho intermediário e pequenos, e, (II) ao aumento da proporção de poros de tamanho intermediário no PD em função da compactação.

Em alguns solos sob PD observou-se uma redução da proporção de poros de tamanho intermediário nas camadas mais compactadas do solo. Possivelmente, isso seja uma consequência do elevado estado de compactação, que além de destruir os macroporos, comprometeu também a proporção dos poros de tamanho intermediário.

Cada estado de compactação do solo parece corresponder uma classe de diâmetros de poros, que terá sua proporção alterada no solo conforme mudar o estado de compactação, assim favorecendo um diâmetro de poros em detrimento de outro.

Entre os solos nos quais a condição natural foi representada pelo CN, somente o LVd textura argilosa não apresentou compactação causada pelo pisoteio animal. A compactação do solo causada pelos cascos dos animais atingiu a profundidade de 0,20 m no LBa e 0,15 m no LVd textura média.

Todos os solos sob cultivo encontraram se compactados. Porém, a intensidade dessa compactação e a posição, variaram entre os diferentes solos, o que pode ser atribuído às características intrínsecas do próprio solo e, principalmente, às distintas práticas de manejo utilizadas no cultivo de cada solo sob PD.

3.4.3 Influência do uso do solo na condutividade hidráulica saturada (K_s)

A condutividade hidráulica saturada de um solo é determinada pela geometria e continuidade dos poros quando preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, do tamanho, forma, volume, distribuição e continuidade dos mesmos.

É sabido que a densidade de fluxo que passa por um poro é proporcional ao quadrado de seu diâmetro (Lei de Poiseville). Isso explica porque no presente trabalho a K_s apresentou-se maior nos sistemas de uso e nas camadas do solo onde predominaram os poros grandes. A redução dos valores de K_s nos solos sob sistema PD refletem a redução dos poros de maior diâmetro ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) (Tabela 4 e 5). Estes poros são responsáveis pela aeração e pela drenagem da água no perfil do solo e a sua influência na K_s tem sido verificada na literatura (Logsdon et al., 1990; Azooz et al., 1996; Mesquita & Moraes, 2004; Servadio et al., 2005; Blanco-Canqui et al., 2007).

O LVe sob os dois usos (MN e PD) apresentou maior K_s na camada 0-0,05 m (Tabela 6). Nesta camada, para ambos os usos do solo, ocorreu a maior proporção de macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) (Tabela 4).

Entre os usos nas camadas avaliadas do LVe, a maior K_s ocorreu no solo sob MN (Tabela 6). Isso se deve a maior proporção de poros grandes na MN (Tabela 4) quando comparado ao solo sob cultivo. Esses resultados concordam com a proposição de Logsdon et al. (1990) de que a condutividade hidráulica é a propriedade do solo que mais reflete as mudanças na sua estrutura original.

No LVaf, sob MN, a K_s foi maior na camada de 0-0,05 m (Tabela 6), o que foi devido a maior proporção de poros grandes ($\phi \geq 300 \mu\text{m}$) presentes nessa camada (Tabela 4). No sistema de uso PD não houve diferenças significativas para K_s entre as camadas avaliadas, possivelmente devido a pequena diferença encontrada para DDP entre camadas, principalmente das classes de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ e $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ (Tabela 4). Embora não tenha ocorrido diferença estatística significativa, observou-se uma tendência de aumento dos valores de K_s com a profundidade do solo, sendo o maior valor encontrado na camada 0,30-0,35 m. Esses resultados concordam com a proporção dos poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ em cada camada do solo (Tabela 4). Isso demonstra a grande dependência que existe entre K_s e a DDP. Esta constatação também foi feita por Silva et al. (2005), que trabalharam com um Argissolo Amarelo e verificaram por meio de regressão linear múltipla que K_s era influenciada principalmente pela DDP e densidade do solo ($R^2 = 0,89$).

Tabela 6 - Condutividade hidráulica saturada (log K_s) de sete solos do Sul do Brasil, considerando as camadas avaliadas e o uso do solo

Tipo de solo	Uso	Profundidade	Log K _s
		m	mm h ⁻¹
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	3,14 aA
		0,15-0,20	2,48 bA
		0,30-0,35	2,23 bA
	Plantio direto	0-0,05	2,27 aB
		0,15-0,20	0,30 bB
		0,30-0,35	1,03 bB
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	3,37 aA
		0,15-0,20	2,69 bA
		0,30-0,35	2,56 bA
	Plantio direto	0-0,05	0,89 aB
		0,15-0,20	1,07 aB
		0,30-0,35	1,34 aB
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	2,95 aA
		0,15-0,20	2,45 abA
		0,30-0,35	1,98 bA
	Plantio direto	0-0,05	1,26 aB
		0,15-0,20	-0,44 aB
		0,30-0,35	0,98 aA
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	0,71 aA
		0,15-0,20	0,63 aA
		0,30-0,35	-0,08 aA
	Plantio direto	0-0,05	0,77 aA
		0,15-0,20	1,01 aA
		0,30-0,35	0,98 aA
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0,07-0,15	1,63 bA
		0,40-0,45	2,21 aA
	Plantio direto	0-0,07	2,41 a
		0,07-0,15	1,42 cA
		0,20-0,30	1,36 c
		0,40-0,45	1,86 bB
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0,07-0,15	2,07 aA
		0,40-0,45	0,50 bA
	Plantio direto	0-0,07	1,19 a
		0,07-0,15	0,31 aB
		0,20-0,30	0,48 a
		0,40-0,45	1,12 aA
Latossolo Vermelho distroférico	Mata	0,07-0,15	2,94 A
		0-0,07	1,08 a
	Plantio direto	0,07-0,15	1,80 aB
		0,20-0,30	1,54 a
		0,40-0,45	1,29 a

Letra minúscula, na coluna, compara médias para o mesmo sistema de uso. Letras maiúsculas, na coluna, compara médias entre sistemas de uso para a mesma camada. Médias seguidas de mesma letra minúscula ou maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Observou-se no LVaf que K_s foi maior sob MN em todas as camadas avaliadas (Tabela 6). Isso se deve aos poros $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ que nas camadas avaliadas predominaram no solo sob MN, em relação ao PD (Tabela 4).

Para o NVd sob MN, observou-se que o valor de K_s foi maior na camada 0-0,05 m se comparado a camada 0,30-0,35 m, e não diferiu da camada 0,15-0,20 m (Tabela 6). Entre as camadas de 0,15-0,20 e 0,30-0,35 m não houve diferença significativa. Essas diferenças na K_s não são explicadas pela DDP, pois para esta propriedade do solo não foram encontradas diferenças significativas entre as camadas do solo na MN (pelo menos não nas classes de poros que afetam a K_s). O comportamento da K_s no solo sob MN pode ser explicado pela densidade do solo (Tabela 4). A camada 0-0,05 m apresentou a maior K_s e a menor densidade do solo, enquanto a camada 0,30-0,35 m apresentou a menor K_s e a maior densidade do solo entre as camadas avaliadas. Isso mostra que K_s tem um comportamento inverso à densidade do solo. Esse comportamento da K_s em relação à densidade do solo tem sido verificado na literatura (Fernandes & Galloway, 1987; Blanco-Canqui et al., 2007).

No NVd sob PD, não houve diferenças significativas para K_s entre camadas. Isso pode ser atribuído a DDP, que não apresentou diferenças entre camadas para poros $\phi \geq 50 \mu\text{m}$, e a densidade do solo que também não diferiu significativamente entre as camadas do solo sob PD (Tabela 4).

Entre usos do solo a K_s foi maior sob a MN, a exceção da maior camada (0,30-0,35 m), na qual não houve diferença significativa entre MN e PD (Tabela 6). Esse comportamento da K_s na camada 0,30-0,35 m do PD não era esperado, pois, a densidade do solo foi maior e a proporção dos poros $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ foi menor no PD que na MN (Tabela 4). Portanto, não se esperaria uma K_s semelhante entre os diferentes usos do solo. Segundo Servadio et al. (2005), a condutividade hidráulica do solo depende não só da DDP e da densidade como também da continuidade dos poros no solo. Isso sugere, que na camada 0,30-0,35 m no PD, a continuidade dos poros seja maior que nas demais profundidades desse sistema de uso, o que justificaria a K_s semelhante ao solo sob MN.

No LBa, nas duas condições de uso (CN e PD) não houve diferença significativa para K_s entre camadas (Tabela 6). Da mesma forma, também não houve diferenças significativas entre usos do solo. Atribuiu-se isso as pequenas diferenças encontradas neste solo para densidade do solo e DDP, principalmente para os poros com $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ (Tabela 4). Outro fator que dificultou a determinação de diferenças significativas para K_s foi à variabilidade do

solo (Apêndice H – apresenta o número de observações, a média geométrica e o CV para K_s , em cada camada e sistema de uso). Neste sentido, Gomes et al. (2007), trabalhando com a variabilidade e a estrutura de dependência espacial de atributos físico-hídricos do solo, encontraram que a variabilidade para a K_s (medida *in situ* com permeâmetro de Ghelph) foi alta com CV de 88,37 %. Logsdon et al. (1990) encontraram valores de $CV > 1000$ % para K_s em amostras de estrutura preservada tomadas no campo em cilindros e medidas no laboratório.

Para a condição natural representada pelo CN no LVd textura média, a K_s foi maior na camada 0,40-0,45 m (Tabela 6). O menor valor de K_s na camada 0,07-0,15 m é consequência da compactação do solo causada pelo pisoteio animal, como já relatado anteriormente (Item 3.4.2). Os resultados de K_s concordam com a DDP, porque na camada 0,40-0,45 m predominaram os poros das classes $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ (Tabela 5). Para classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ não houve diferença significativa.

A K_s no LVd textura média sob PD foi maior na camada 0-0,07 m, seguido da K_s na camada 0,40-0,45 m. A menor K_s foi encontrada nas camadas de 0,07-0,15 m e 0,20-0,30 m e que não diferiram entre si. Esses resultados concordam com os dados de densidade do solo e com a distribuição dos poros das classes $50 \leq \phi < 300 \mu\text{m}$ e $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ (Tabela 5).

A maior K_s na camada superficial no PD pode ser atribuída a melhor estruturação do solo promovida pelo acúmulo de MOS nessa camada, o que se deve à cobertura do solo pelos resíduos culturais e ao revolvimento do solo ser limitado à linha de semeadura. Esses resultados corroboram com Blanco-Canqui et al. (2007) que avaliaram o impacto da quantidade de resíduos da cultura do milho deixados na superfície de três solos cultivados sob PD, nos parâmetros hidráulicos dos solos. Os autores encontraram que K_s aumentou linearmente para o solo Hoytville e de forma quadrática para os solos Coshocton e Charleston, quando os resíduos em cobertura aumentavam de 0 a 10 Mg ha^{-1} . Os autores ainda afirmam, que o aumento da K_s e a redução da densidade do solo podem ser atribuídas ao aumento da estruturação do solo e da atividade de minhocas nas parcelas cobertas com resíduos culturais.

Entre os sistemas de uso do LVd textura média, encontrou-se diferença significativa para K_s somente na camada 0,40-0,45 m. Nesta camada K_s foi menor no PD que no CN, possivelmente em função da maior continuidade de poros no CN, já que para profundidade 0,40-0,45 m não houve diferenças na densidade do solo e DDP entre os usos do solo. Como relatado anteriormente (Item 2.4.2), a camada 0,40-0,45 m no CN não foi atingida pela compactação causada pelo pisoteio animal, o que pode ter favorecido a manutenção da

continuidade dos poros nesta condição de uso do solo, justificando uma maior K_s em relação ao PD. Além disso, o uso de pastagens é apontado como uma prática favorável à recuperação das propriedades físicas de solos degradados, por adicionar matéria orgânica ao solo, criar macroporos ($>K_s$) e contribuir para re-agregação do solo (Connolly et al., 1998).

O LVd textura argilosa na condição natural (CN), apresentou maior K_s na camada 0,07-0,15 m (Tabela 6), possivelmente devido à densidade do solo e a DDP. Embora essas propriedades do solo não tenham apresentado diferenças entre camadas, o que foi atribuído a variabilidade, observa-se que a densidade na camada 0,07-0,15 m apresentou um valor menor que na camada 0,40-0,45 m e a proporção de poros $\phi \geq 50 \mu\text{m}$ foi maior na camada 0,07-0,15 m que na camada 0,40-0,45 m, explicando portanto, o comportamento da K_s . Esses resultados confirmam que o LVd textura argilosa não sofreu compactação do solo pelo pisoteio animal nas camadas avaliadas, como havia sido proposto anteriormente nos itens 3.4.1 e 3.4.2. No PD não houve diferenças entre camadas para K_s .

Entre usos do solo, ocorreu diferença para K_s na camada 0,07-0,15 m, onde a K_s foi maior no CN quando comparado ao PD. Isso pode ser atribuído à densidade do solo e a DDP, principalmente dos poros da classe $20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$ que foram os únicos em maior proporção na camada 0,07-0,15 m do CN em relação ao PD. Quando não ocorre diferença na proporção dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$), uma maior K_s pode ser determinada pela participação dos poros de tamanho intermediário ($20 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$) no fluxo, como aconteceu para camada 0,07-0,15 m do CN.

Para o LVdf sob PD não houve diferenças para K_s entre as camadas avaliadas (Tabela 6). Isso pode ser atribuído a presença de galerias de corós, como foi relatado no item 3.4.2. Esses resultados concordam com a DDP especialmente para a classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ na qual também não houve diferenças entre camadas (Tabela 5). Embora não tenha ocorrido diferença significativa, a camada de 0,07-0,15 m apresentou o maior valor de K_s , apesar da elevada densidade do solo (Tabela 5). Esses resultados podem ser explicados pelos bioporos formados pelos corós que aumentaram a K_s , mas não alteraram a densidade do solo. Isso corrobora com a afirmação de Mesquita & Moraes (2004) de que nas camadas superficiais, geralmente a densidade do solo apresenta grande variação em função do manejo, o que pode propiciar a formação de poros com maiores diâmetros, os quais permitem maiores valores de K_s , porém sem influenciar muito a densidade do solo. Ainda neste sentido, Blanco-Canqui et al. (2007), avaliaram o efeito de bioporos deixados por minhocas na K_s de um solo franco argiloso (Hoytville), encontraram que K_s foi 184 vezes maior nas amostras de solo onde os bioporos

não foram obstruídos, quando comparado às amostras onde os bioporos foram preenchidos com bentonita.

Entre condições de uso, no LVdf a K_s foi maior na MN como reflexo do predomínio das classes de poros de maior diâmetro (Tabela 5). Isso se deve ao acúmulo de MOS que promove uma melhor estruturação do solo na MN.

Em geral, a K_s expressou bem as alterações na estrutura do solo impostas pelo uso do solo. Quando o uso do solo alterou a DDP e ou a densidade do solo, a K_s expressou essas alterações.

Com relação a DDP, a K_s foi muito afetada pelos macroporos, e, em determinadas situações também pelos poros intermediários. Quando a proporção de macroporos é a mesma entre camadas ou entre condições de uso do solo, uma maior proporção dos poros de tamanho intermediário participando do fluxo poderá provocar diferenças na K_s .

3.4.4 Influência do uso do solo na condutividade do ar no solo (K_i)

A K_i não é apenas importante para aeração do solo, mas também se revela um bom indicador para determinar alterações impostas pelo uso e manejo do solo, na continuidade e funcionalidade do sistema poroso do solo. O fluxo de ar no solo ocorre de forma semelhante ao da água, com o fluxo ocorrendo predominantemente nos poros grandes, de acordo com a Lei de Poiseville (Hillel, 1998; Blanco-Canqui et al., 2007). A água e o ar coexistem no solo ocupando diferentes proporções do espaço poroso. Cada fluido ocupa um conjunto de poros com diâmetro efetivo e tortuosidade diferente. O fluxo de ar ocorre de forma preferencial através de macroporos grandes e contínuos (Iversen et al., 2003).

Para o LVe na condição de uso MN, K_i foi maior na superfície (0-0,05 m) reduzindo em profundidade (Tabela 7). Para o uso do solo sob PD não houve diferenças significativas para K_i entre camadas do solo. Esse resultado diferiu daquele encontrado para K_s (Tabela 6) e pode ser atribuído à geometria dos poros por onde ocorre preferencialmente o fluxo de ar (macroporos grandes e contínuos), que estão em menor proporção no PD. Outro aspecto é o elevado teor de água ainda presente nas amostras, equilibradas no potencial matricial de -6 kPa, que deixa pouco espaço poroso livre de água.

Entre as diferentes condições de uso do LVe, nas camadas avaliadas a K_i foi maior sob MN, refletindo a melhor estruturação do solo e a maior proporção de macroporos na MN em relação ao PD.

Tabela 7 - Condutividade do ar (log K_i) de sete solos do Sul do Brasil, considerando as camadas avaliadas e o uso do solo

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	Log K _i cm d ⁻¹
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	3,37 aA
		0,15-0,20	2,93 abA
		0,30-0,35	2,67 bA
	Plantio direto	0-0,05	1,79 aB
		0,15-0,20	1,78 aB
		0,30-0,35	1,75 aB
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	2,98 aA
		0,15-0,20	2,78 aA
		0,30-0,35	2,57 aA
	Plantio direto	0-0,05	1,65 aB
		0,15-0,20	1,80 aB
		0,30-0,35	1,66 aB
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	3,26 aA
		0,15-0,20	2,54 bA
		0,30-0,35	2,16 bA
	Plantio direto	0-0,05	1,35 bB
		0,15-0,20	1,94 aB
		0,30-0,35	1,96 aA
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	1,46 aA
		0,15-0,20	1,26 aB
		0,30-0,35	1,26 aB
	Plantio direto	0-0,05	1,80 aA
		0,15-0,20	1,79 aA
		0,30-0,35	1,93 aA
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	1,85 aA
		0,07-0,15	1,79 aA
		0,20-0,30	1,68 aA
		0,40-0,45	2,02 aA
	Plantio direto	0-0,07	2,33 aA
		0,07-0,15	1,31 bA
		0,20-0,30	1,54 bA
		0,40-0,45	1,66 bA
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0-0,07	2,55 aA
		0,07-0,15	1,97 bA
		0,20-0,30	1,60 bcA
		0,40-0,45	1,38 cB
	Plantio direto	0-0,07	1,90 aB
		0,07-0,15	1,43 bA
		0,20-0,30	1,93 aA
		0,40-0,45	1,92 aA
Latossolo Vermelho distroférrico	Mata	0-0,07	3,43 aA
		0,07-0,15	3,34 abA
		0,20-0,30	2,76 bA
		0,40-0,45	2,79 abA
	Plantio direto	0-0,07	2,12 aB
		0,07-0,15	2,10 aB
		0,20-0,30	2,18 aA
		0,40-0,45	1,97 aB

Letra minúscula, na coluna, compara médias para o mesmo sistema de uso. Letras maiúsculas, na coluna, compara médias entre sistemas de uso para a mesma camada. Médias seguidas de mesma letra minúscula ou maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

O LVaf sob MN e PD, não apresentou diferenças na K_i entre camadas (Tabela 7). Entre usos do solo, nas profundidades avaliadas, a K_i foi maior na MN. Neste solo a K_i não refletiu as diferenças ocorridas na DDP entre camadas do solo sob MN e PD, principalmente dos poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ (Tabela 4). Isso decorreu do pequeno número de repetições para algumas camadas do solo, que não permitiu uma adequada caracterização da K_i . Para algumas amostras não foi possível fazer a leitura do fluxo de ar porque o solo se apresentava solto dentro do cilindro. Isso aconteceu com maior frequência nos solos coletados sob mata e na camada superficial do PD. (Apêndice I – apresenta o número de observações, a média geométrica e o CV para K_i , para cada camada e uso do solo). Para classificar um solo ou horizonte quanto à permeabilidade ao ar deve-se utilizar no mínimo 10 repetições (Kmoch & Hanus, 1965).

No NVd sob MN, a K_i foi maior na camada 0-0,05 m quando comparado as camadas de 0,15-0,20 e 0,30-0,35 m, sendo que entre estas duas últimas camadas a K_i não apresentou diferença estatística (Tabela 7). Sob PD a K_i foi menor na camada superficial (0-0,05 m), apresentando-se maior nas camadas de 0,15-0,20 e 0,30-0,35 m, entre as quais não houve diferença estatística.

Entre os usos do NVd, K_i foi maior na MN nas camadas de 0-0,05 e 0,15-0,20 m. Na camada de 0,30-0,35 m não houve diferença estatística para K_i entre a MN e o PD. Resultado semelhante também foi encontrado para K_s neste solo. K_s e K_i se correlacionam e K_i pode ser um bom parâmetro para predizer a K_s (Blanco-Canqui et al., 2007). O fluxo de água que determina K_s ocorre preferencialmente pelos poros grandes quando o solo estiver saturado, da mesma maneira quando o solo for drenado até próximo da capacidade de campo, o fluxo de ar que determina K_i passa também preferencialmente pelos poros grandes. Baseado nisto, a K_i medida próxima à capacidade de campo permite uma boa estimativa da permeabilidade da fração de poros grandes e assim, uma boa predição da K_s (Iversen et al., 2003).

Sob a condição natural (CN) e sob cultivo (PD), o LBa não apresentou diferenças estatísticas para K_i entre as camadas avaliadas (Tabela 7). Esses resultados podem ser explicados pelas diferenças pouco expressivas ocorridas na DDP entre os dois usos do solo (Tabela 4). Entre os usos não houve diferença estatística na camada de 0-0,05 m, enquanto nas camadas 0,15-0,20 e 0,20-0,30 m a K_i foi maior sob PD do que no CN. Esses resultados concordam com a DDP, principalmente dos poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ (Tabela 4).

Na condição natural (CN), o LVd textura média não apresentou diferenças na K_i entre camadas (Tabela 7). No PD a K_i foi maior na camada mais superficial (0-0,07 m) e entre as

demais camadas não houve diferenças estatísticas. Entre os usos do solo também não houve diferença estatística para nenhuma das camadas avaliadas.

No LVd textura média, a K_i não discriminou bem as diferenças impostas pelo uso na estrutura do solo, como a K_s . Isso pode ser explicado pelo fluxo de ar ocorrer preferencialmente por macroporos grandes e contínuos (Iversen, 2003). A classe de poros $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ se apresentou em menor proporção e sem diferenças entre camadas nos dois sistemas de uso do LVd textura média (Tabela 5). Já no caso da K_s , quando a proporção de macroporos for semelhante, a proporção dos poros intermediários poderá expressar-se em diferenças no valor final da K_s . Neste sentido, Logsdon et al. (1990), afirmam que a K_s é a propriedade do solo que mais reflete as mudanças na sua estrutura original.

No LVd textura argilosa sob CN, a K_i foi maior na camada 0-0,07 m (Tabela 7). Neste solo K_i reduziu com o aumento da profundidade, sendo o menor valor ($\log K_i = 1,38 \text{ cm d}^{-1}$) encontrado na camada de 0,40-0,45 m. Esses resultados corroboram com outros autores. Vossbrink (2004) trabalhando em solo sob floresta relata redução nos valores de K_i na profundidade 0,40 m em relação à profundidade de 0,20 m. Peth & Horn (2006) encontraram em um Luvisolo Háptico sob cultivo anual, elevados valores de K_i na profundidade de 0,10 m e uma brusca redução dos valores na profundidade 0,30 m.

No PD a menor K_i foi encontrada na camada 0,07-0,15 m do LVd textura argilosa. Esta camada apresentou o maior estado de compactação, com a maior densidade do solo e menor proporção de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ (Tabela 5). Para as demais camadas do solo (0-0,07; 0,20-0,30 e 0,40-0,45 m) não houve diferença estatística para K_i .

Entre os usos do solo, na camada 0-0,07 m a K_i foi maior sob CN que no PD. Possivelmente isso seja devido à vegetação do CN ser constituída, na maioria, por gramíneas estoloníferas, que cobrem totalmente o solo e apresentam um sistema radicular com crescimento vigoroso que proporciona incorporação de MOS, aumento da porosidade e continuidade dos poros. Nas camadas 0,07-0,15 e 0,20-0,30 m não houve diferenças estatísticas para K_i entre usos. Na camada 0,40-0,45 m a K_i foi maior no PD que no CN, o que concorda com a maior proporção de poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$ encontrados sob PD (Tabela 5).

Para o LVdf sob MN, a maior K_i se encontrou na camada superficial (0-0,7 m), mas não foi estatisticamente diferente do valor de K_i encontrado nas camadas de 0,07-0,15 e 0,40-0,45 m. Por outro lado, o menor valor de K_i encontrado na camada de 0,20-0,30 m do solo, não foi estatisticamente diferente da K_i encontrada nas camadas de 0,07-0,15 m e 0,40-0,45

m. Sob PD não ocorreram diferenças para K_i entre camadas, esse resultado concorda com a DDP, principalmente dos poros da classe $\phi \geq 300 \mu\text{m}$. Entre os usos do solo, a K_i foi maior sob MN nas camadas 0-0,07; 0,07-0,15 e 0,40-0,45 m. Na camada 0,20-0,30 m não ocorreu diferença estatística para K_i entre a MN e o PD.

Neste estudo, demonstrou-se que K_i refletiu as alterações na estrutura do solo impostas pelas práticas de manejo utilizadas em cada uso do solo. No entanto, foi mais eficiente para detectar diferenças entre usos distintos do solo, do que diferenças estruturais entre camadas de um mesmo sistema de uso, principalmente quando estas eram pequenas. Possivelmente, isso ocorreu em função do potencial matricial alto (-6 kPa) no qual as amostras de solo foram equilibradas, onde somente os macroporos foram esvaziados para permitir a passagem do ar. Por outro lado, na literatura é sugerido que K_i deve ser determinada em amostras equilibradas em potenciais matriciais próximos a capacidade de campo (como ocorreu no presente trabalho), fazendo com que o fluxo de ar ocorra predominantemente nos poros grandes, permitindo uma boa predição da permeabilidade desses poros, e, permitindo que se faça uma boa estimativa da K_s a partir de K_i (Iversen et al., 2003; Blanco-Canqui et al., 2007).

Baseado no exposto acima, se conclui que alterações na estrutura do solo que atingiram os poros com diâmetro no intervalo dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$) foram muito bem caracterizadas pela K_i .

3.5 Conclusões

1. O uso do solo sob PD aumentou a densidade do solo, diminuiu a porosidade total e alterou a distribuição do diâmetro de poros, aumentando a proporção de poros pequenos e acarretando a conseqüente diminuição da K_s e K_i .
2. A compactação sob PD variou entre os solos quanto à intensidade e posição da camada compactada.
3. Nos solos sob CN somente o LVd textura argilosa não apresentou compactação causada pelo pisoteio animal. Para o LBa e LVd textura média a compactação causada pelos cascos dos animais atingiu, respectivamente, a profundidade de 0,20 m e 0,15 m.
4. A compactação do solo promoveu o aumento da proporção de poros de tamanho intermediário ($3 \leq \phi < 50 \mu\text{m}$) e/ou pequenos ($\phi \leq 3 \mu\text{m}$), em detrimento da proporção dos macroporos ($\phi \geq 50 \mu\text{m}$).

5. A redução da proporção dos poros de tamanho intermediário na MN decorreu do aumento dos macroporos pelas condições favoráveis a alta estruturação do solo, enquanto a redução da proporção dos poros de tamanho intermediário nas camadas mais compactadas do PD ocorreu pela destruição daqueles e conseqüente aumento da proporção de poros pequenos.
6. A K_s expressou bem as alterações na estrutura do solo impostas pelo uso do solo e mostrou-se dependente da DDP e ou da densidade do solo.
7. A K_l mostrou-se bastante dependente dos macroporos, em conseqüência expressou as alterações na estrutura do solo quando a proporção de macroporos foi afetada.

3.6 Referencias bibliográficas

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

AZOOZ, R. H.; ARSHAD, M. A.; FRANZLUEBBERS, A. J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. **Soil Science Society American Journal**, v. 60, p.1197-1201, 1996.

BARDEN, L.; PAVLAKIS, G. Air and water permeability of compacted unsaturated cohesive soil. **European Journal of Soil Science**. v. 22, p. 302-318, 1971.

BAVER, L. D.; GARDNER W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. Mexico: Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1972. 529p.

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

BLANCO-CANQUI, H. et al. Soil hydraulic properties influenced by corn stover removal from no-till corn in Ohio. **Soil Tillage Research**, v.92, p.144-155, 2007.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CENTURION, J. F. et al. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, p.199-209, 2007.

CONCEIÇÃO, A. C. et al. Dinâmica da liteira fina sob diferentes coberturas florestais na Amazônia Central. In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 2º, 2005, Manaus. **Anais eletrônicos...** Manaus: LBA, 2005. Disponível em: <<http://www.lbaconferencia.org/index.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2007.

CONNOLLY, R. D.; FREEBAIRN, D. M.; BELL, J. M. Change in soil infiltration associated with leys in south-eastern Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.1057-1072, 1998.

FERNANDES, B. et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 329-333, 1983.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de dois solos. **Revista Ceres**, v.34, p.562-568, 1987.

GASSEN, D. N. **Os benefícios de corós em lavouras sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 8p. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co47.htm>. Acesso em: 14 jun. 2007. (Comunicado Técnico Online, 47).

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latosso argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.

GOMES, N. M. et al. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, p.435-443, 2007.

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

HARTGE, K. H.; HORN, R. **Die physikalische Untersuchung von Böden**. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992. 177p.

HILL, R. L.; HORTON, R.; CRUSE, R. M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society American Journal**, v. 49, p. 1264-1270, 1985.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

IVERSEN, B. V. et al. Field application of a portable air permeameter to characterize spatial variability in air and water permeability. **Vadose Zone Journal**, v.2, p.618-626, 2003.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KIRBY, J. M. The influence of soil deformations on the permeability to air. **European Journal of Soil Science**. v. 42, p. 227-235, 1991.

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

KMOCH, H. G.; HANUS, H. 1965. Vereinfachte Methodik und Auswertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft. **Zeitschrift für Pflanzenernährung Düngung, und Bodenkunde**, Band 111, p. 1-10, 1965.

LOGSDON, S. D. et al. Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices. **Soil Science Society American Journal**, v. 54, p. 1096-1101, 1990.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físico do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

MOREIRA, J. A. A. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.155-161, 2005.

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J.C. Relações massa-volume em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG) sob pastagem e cultivo anual. **Ciência Prática**, v. 7, n. 1, p.66-74, 1983.

PETH, S. **Bodenphysikalische Untersuchungen zur Trittbelastung von Böden bei der Rentierweidewirtschaft an borealen Wald- und subarktisch-alpinen Tundrenstandorten:** Auswirkungen auf thermische, hydraulische und mechanische Bodeneigenschaften. 2004. 90 f. Schriftenreihe (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde) - Christian Albrechts Universität Kiel, Kiel.

PETH, S.; HORN, R. The mechanical behavior of structured and homogenized soil under repeated loading. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, p.401-410, 2006.

RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A view toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, v.11, p.1-35, 1990.

SANTI, G.R. et al. Efeito do pisoteio na compactação do solo argiloso na região do Planalto Gaúcho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 15°, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

SCAPINI, C.A. et al. Efeito do pisoteio animal, no terceiro ano consecutivo, sobre algumas propriedades físicas do solo e produtividade do milho sob plantio direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26°, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

SERVADIO, P. et al. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil Tillage Research**, v. 84, p. 87-100, 2005.

SILVA et al. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 833-842, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS/STAT. Procedure guide for personal computers. 5.ed. Cary, NC: SAS Inst. 1999. 334p.

TARAWALLY, M. A. et al. Field compaction at different soil-water status: effect on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil Tillage Research**, v. 76, p. 95-103, 2004.

STARTSEV, A. D.; MCNABB, D. H. Skidder traffic effects on water retention, pore-size distribution, and van Genuchten parameters of boreal forest soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 65, p. 224-231, 2001.

VOSSBRINK, J. **Bodenspannungen und Deformationen in Waldböden durch Ernteverfahren**. 2004. 63 f. Schriftenreihe (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde) - Christian Albrechts Universität Kiel, Kiel.

4. CONCLUSÕES FINAIS

O índice S mostrou as variações na qualidade física do solo impostas pelo manejo. Solos que apresentam elevada retenção de água, em potenciais matriciais altos, e acentuada redução do conteúdo de água, em potenciais intermediários, podem gerar valores de S que não representam a real condição física do solo, por isso, o valor de S deve estar acompanhado da representação da CRA. O S não sofreu influência do teor de argila total e nem do teor de argila dispersa dos solos. O índice S decresceu exponencialmente com o aumento da Ds e aumentou exponencialmente com o aumento do teor de MOS nos solos de textura argilosa e muito argilosa. Para o grupo de solos com textura argilosa e muito argilosa a ADP apresentou aumento logarítmico crescente com aumento dos valores de S e, σ_p decresceu exponencialmente com o aumento do valor do índice S. Não foi possível estabelecer uma relação entre o índice S e os solos de textura média, possivelmente pelo pequeno número de amostras de solo com esta textura, utilizados neste trabalho.

O uso do solo sob PD aumentou a densidade do solo, diminuiu a porosidade total e alterou a distribuição do diâmetro de poros, aumentando a proporção de poros pequenos e acarretando a conseqüente diminuição da K_s e K_l . A compactação sob PD variou entre os solos quanto à intensidade e posição da camada compactada. Entre os solos sob CN somente o LVd textura argilosa não apresentou compactação causada pelo pisoteio animal. A redução da proporção dos poros de tamanho intermediário na MN decorreu do aumento dos macroporos pelas condições favoráveis à alta estruturação do solo, enquanto a redução da proporção dos poros de tamanho intermediário nas camadas mais compactadas do PD ocorreu pela destruição destes e conseqüente aumento da proporção de poros pequenos. A K_s expressou bem as alterações na estrutura do solo impostas pelo uso do solo e mostrou-se dependente da distribuição do diâmetro de poros e ou da densidade do solo. A K_l mostrou-se bastante dependente dos macroporos, refletindo as alterações impostas pelo uso e manejo do solo, quando este alterava a proporção de macroporos.

APÊNDICE A – Densidades e porosidades do Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico

Profundidade (m)	Ds (Mg m ⁻³)		Mac (m ³ m ⁻³)		Mic (m ³ m ⁻³)		Pt (m ³ m ⁻³)	
	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo
Latossolo Vermelho eutrófico								
0-0,05	1,17 b*	0,85 b*	0,15 a	0,29 a*	0,39 a	0,34 a*	0,54 a	0,63 a*
0,15-0,20	1,41 a	1,09 a*	0,07 b	0,21 b*	0,42 a	0,36 a*	0,48 b	0,57 b*
0,30-0,35	1,23 b	1,07 a*	0,09 b	0,19 b*	0,43 a	0,37 a*	0,52 a	0,56 b*
CV %	7,3	4,2	36,7	6,5	9,6	7,4	3,5	3,9
Latossolo Vermelho aluminoférrico								
0-0,05	1,13 a	0,55 b*	0,08 a	0,36 a*	0,47 a	0,36 b*	0,55 a	0,71 a*
0,15-0,20	1,13 a	0,77 a*	0,94 a	0,23 b*	0,46 a	0,43 a*	0,56 a	0,66 b*
0,30-0,35	1,05 b	0,84 a*	0,11 a	0,22 b*	0,47 a	0,44 a*	0,58 a	0,66 b*
CV %	5,2	7,6	31	13,3	3,7	6,7	4,7	3,8
Nitossolo Vermelho distrófico								
0-0,05	1,05 a	0,75 b*	0,09 a	0,21 a*	0,48 a	0,44 b*	0,57 a	0,65 ab*
0,15-0,20	1,13 a	0,84ab*	0,06 a	0,19 a*	0,48 a	0,48 a*	0,54 a	0,67 a*
0,30-0,35	1,03 a	0,86 a*	0,09 a	0,18 a*	0,48 a	0,45 ab*	0,58 a	0,64 b*
CV %	9,9	8,2	61,9	16,8	6,8	5,2	5,2	3,7
Latossolo Bruno aluminico								
0-0,05	1,07 b	1,06 b**	0,11 a	0,05 b**	0,46 a	0,55 a**	0,56 a	0,61 a**
0,15-0,20	1,24 a	1,15 a**	0,07 a	0,05 b**	0,46 a	0,50 b**	0,53 a	0,55 b**
0,30-0,35	1,11 b	1,12 a**	0,09 a	0,08 a**	0,47 a	0,49 b**	0,57 a	0,57 b**
CV %	6,7	2,9	52	27,6	5,8	3,7	4,8	5,0

Ds - densidade do solo; Mac - macroporosidade do solo; Mic - microporosidade do solo; Pt - porosidade total do solo.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%

* Floresta

** Campo Nativo

APÊNDICE B – Densidades e porosidades do Latossolo Vermelho textura média, Latossolo Vermelho textura argilosa e Latossolo vermelho distroférico

Profundidade (m)	Ds (g cm ⁻³)		Mac (m ³ m ⁻³)		Mic (m ³ m ⁻³)		Pt (m ³ m ⁻³)	
	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo	Plantio direto	Floresta/ campo nativo
Latossolo Vermelho textura média								
0-0,07	1,42 b	-	0,09 ab	-	0,33 a	-	0,43 a	-
0,07-0,15	1,62 a	1,25 a**	0,06 b	0,13 a**	0,26 b	0,41 a**	0,32 b	0,54 a**
0,20-0,30	1,59 a	-	0,05 b	-	0,28 b	-	0,33 b	-
0,40-0,45	1,49 ab	1,31 a**	0,11 a	0,07 b**	0,29 b	0,42 a**	0,41 a	0,49 b**
CV %	3,8	3,8	23,1	12,9	5,7	3,7	4,5	0,8
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa								
0-0,07	1,50 b	-	0,04 c	-	0,37 a	-	0,41 b	-
0,07-0,15	1,59 a	1,25 a**	0,05 b	0,13 a**	0,34 b	0,41 a**	0,39 c	0,54 a**
0,20-0,30	1,41 c	-	0,062 a	-	0,37 a	-	0,44 a	-
0,40-0,45	1,39 c	1,31 a**	0,065 a	0,07 b**	0,37 a	0,42 a**	0,44 a	0,49 b**
CV %	2,2	3,8	10,1	12,9	2,1	3,7	1,4	0,8
Latossolo Vermelho distroférico								
0-0,07	1,35 a	-	0,09 a	-	0,43 b	-	0,52 b	-
0,07-0,15	1,36 a	0,84*	0,11 a	0,35*	0,59 a	0,31*	0,70 a	0,66*
0,20-0,30	1,36 a	-	0,05 c	-	0,43 b	-	0,48 c	-
0,40-0,45	1,24 b	-	0,07 b	-	0,46 b	-	0,53 b	-
CV %	3,2		12,9		3,5		2,3	

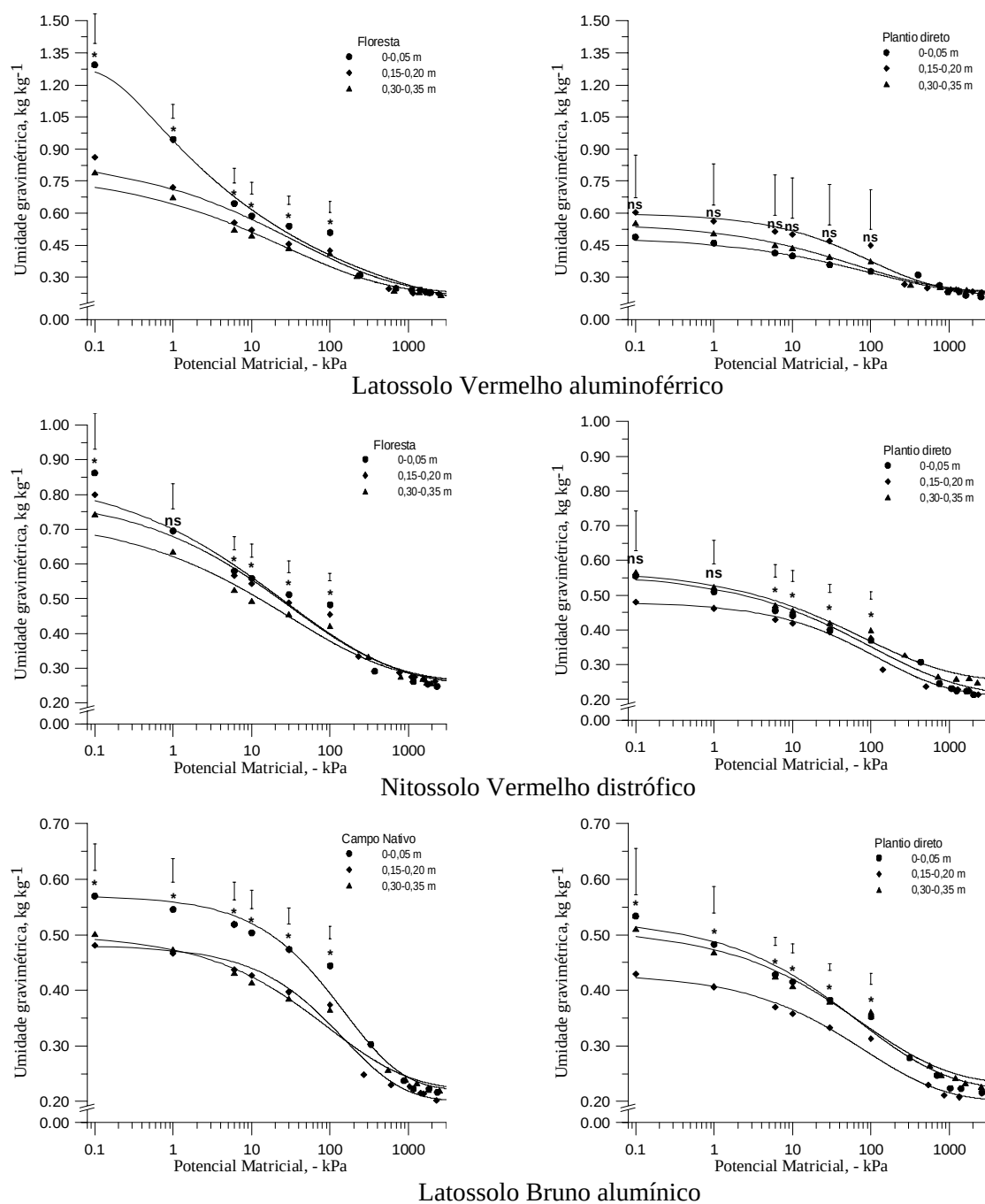
Ds - densidade do solo; Mac - macroporosidade do solo; Mic - microporosidade do solo; Pt - porosidade total do solo.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

* Floresta

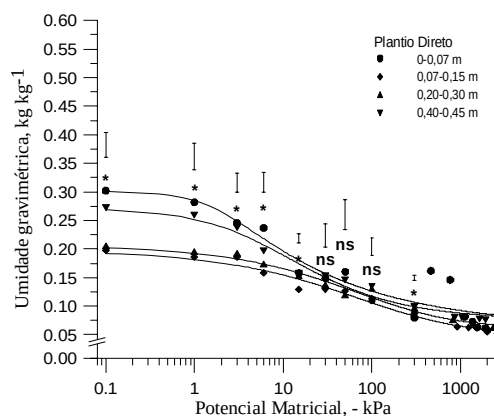
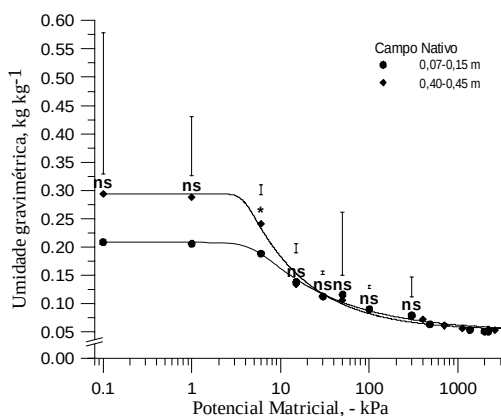
** Campo Nativo

APÊNDICE C – Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminíco

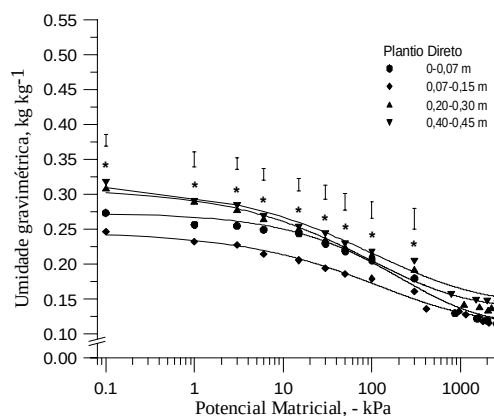
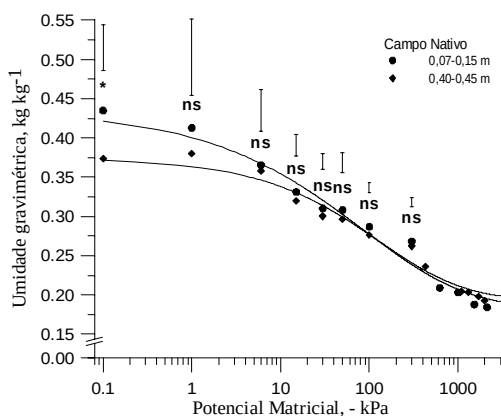


Barras verticais representam a diferença mínima significativa (dms) entre as médias nas diferentes profundidades, ao nível de 5% de probabilidade. (* diferença significativa; ns diferença não significativa)

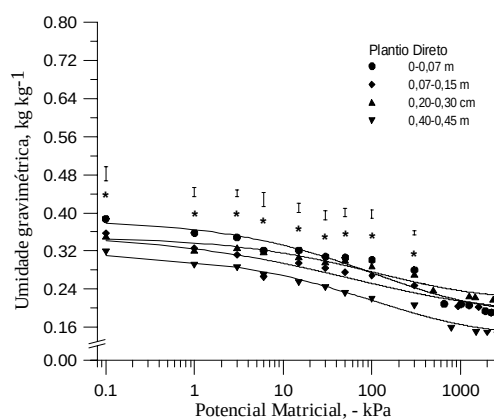
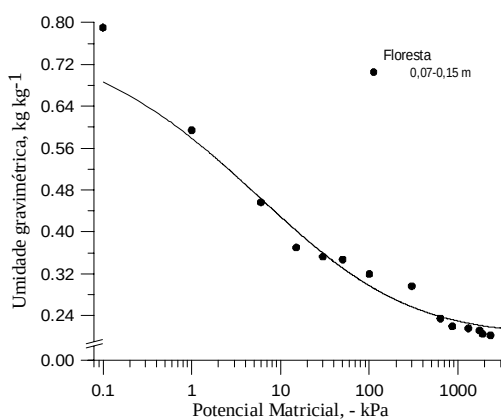
APÊNDICE D – Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho distrófico textura média, Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico



Latossolo Vermelho distrófico textura média



Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa



Latossolo Vermelho distroférico

Barras verticais representam a diferença mínima significativa (dms) entre as médias nas diferentes profundidades, ao nível de 5% de probabilidade. (* diferença significativa; ns diferença não significativa)

APÊNDICE E – Índice S para o Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho aluminoférrico, Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Bruno aluminico, sob dois usos

Profundidade (cm)	Índice S	
	Floresta /Campo nativo	Plantio direto
Latossolo Vermelho eutrófico		
0-0,05	0,054 *	0,033
0,15-0,20	0,079 *	0,020
0,30-0,35	0,046 *	0,027
Latossolo Vermelho aluminoférrico		
0-0,05	0,173 *	0,039
0,15-0,20	0,081 *	0,074
0,30-0,35	0,072 *	0,050
Nitossolo Vermelho distrófico		
0-0,05	0,073 *	0,051
0,15-0,20	0,071 *	0,052
0,30-0,35	0,060 *	0,047
Latossolo Bruno aluminico		
0-0,05	0,080 **	0,047
0,15-0,20	0,064 **	0,039
0,30-0,35	0,047 **	0,042

* Floresta

** Campo Nativo

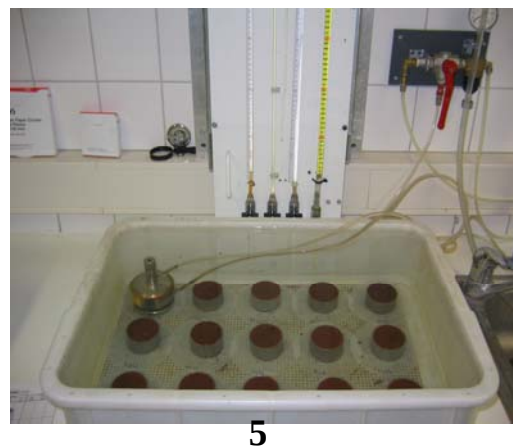
APÊNDICE F – Índice S para o Latossolo Vermelho de textura média, Latossolo Vermelho de textura argilosa e Latossolo Vermelho distrófico, sob dois usos

Profundidade (cm)	Índice S	
	Floresta /Campo nativo	Plantio direto
Latossolo Vermelho textura média		
0-7	-	0,045
7-15	0,051 **	0,023
20-30	-	0,024
40-45	0,116 **	0,037
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa		
0-7	-	0,031
7-15	0,037 **	0,021
20-30	-	0,028
40-45	0,033 **	0,025
Latossolo Vermelho distrófico		
0-7	-	0,029
7-15	0,068 *	0,019
20-30	-	0,020
40-45	-	0,034

* Floresta

** Campo Nativo

APÊNDICE G – Ilustração do permeâmetro de carga variável e do procedimento utilizado na determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s), nos solos estudados



- 1- Permeâmetro de carga variável.
- 2- Detalhe da cápsula.
- 3- Detalhe mostrando o anel de vedação de borracha na parte interna da cápsula.
- 4- Cápsula do permeâmetro colocada sobre a amostra, e, detalhe do nível de água da bacia coincidindo exatamente com a extremidade inferior dos capilares.
- 5- Detalhe mostrando os capilares com escala graduada, onde é feita a leitura da queda da coluna de água (carga), no tempo, para calcular a vazão que passa pela amostra.

APÊNDICE H – Número de observações (n), médias geométricas da condutividade hidráulica saturada (K_s) e coeficiente de variação (CV) para as profundidades de cada solo avaliado

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	n	Média geométrica ----- K_s ----- cm h ⁻¹	CV %
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	6	137	58
		0,15-0,20	5	30,5	31
		0,30-0,35	6	16,9	69
	Plantio direto	0-0,05	5	18,8	104
		0,15-0,20	7	0,20	184
		0,30-0,35	5	1,07	79
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	3	234	61
		0,15-0,20	6	49,1	21
		0,30-0,35	6	36,3	71
	Plantio direto	0-0,05	6	0,78	99
		0,15-0,20	5	1,16	37
		0,30-0,35	6	2,21	59
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	7	90,3	33
		0,15-0,20	7	28,0	102
		0,30-0,35	6	9,66	87
	Plantio direto	0-0,05	5	1,80	184
		0,15-0,20	3	0,04	120
		0,30-0,35	6	0,94	130
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	6	0,51	195
		0,15-0,20	5	0,43	135
		0,30-0,35	5	0,08	184
	Plantio direto	0-0,05	6	0,59	211
		0,15-0,20	5	1,03	75
		0,30-0,35	6	0,95	96
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0,07-0,15	7	4,23	132
		0,40-0,45	7	16,2	21
	Plantio direto	0-0,07	7	25,4	45
		0,07-0,15	7	2,66	95
		0,20-0,30	7	2,27	41
		0,40-0,45	7	7,29	47
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0,07-0,15	7	11,6	69
		0,40-0,45	7	0,31	116
	Plantio direto	0-0,07	7	2,33	139
		0,07-0,15	7	0,21	80
		0,20-0,30	7	0,30	132
		0,40-0,45	7	1,32	88
Latossolo Vermelho distrófico	Mata	0,07-0,15	7	87,1	9
		0-0,07	7	1,40	194
	Plantio direto	0,07-0,15	7	6,32	124
		0,20-0,30	7	3,49	104
		0,40-0,45	7	1,94	103

APÊNDICE I – Número de observações (n), médias geométricas da condutividade do ar no solo (K_1) e coeficiente de variação (CV) para as profundidades de cada solo avaliado

Tipo de solo	Sistema de manejo	Profundidade m	n	Média geométrica ----- K_1 ----- cm d ⁻¹	CV %
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	3	2353	85
		0,15-0,20	6	850,9	140
		0,30-0,35	6	464,5	90
	Plantio direto	0-0,05	6	61,5	45
		0,15-0,20	5	59,8	54
		0,30-0,35	5	56,1	34
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	3	966,5	84
		0,15-0,20	5	603,6	31
		0,30-0,35	6	345,3	104
	Plantio direto	0-0,05	4	45,3	42
		0,15-0,20	4	63,3	79
		0,30-0,35	3	45,8	50
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	6	1844	88
		0,15-0,20	5	344,5	83
		0,30-0,35	5	143,3	66
	Plantio direto	0-0,05	6	22,3	122
		0,15-0,20	4	86,3	52
		0,30-0,35	5	91,7	49
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	6	29,4	120
		0,15-0,20	5	18,1	35
		0,30-0,35	5	18,2	37
	Plantio direto	0-0,05	4	63,3	143
		0,15-0,20	4	61,4	49
		0,30-0,35	5	85,5	40
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	4	70,6	41
		0,07-0,15	4	61,8	106
		0,20-0,30	4	47,8	59
		0,40-0,45	4	103,1	80
	Plantio direto	0-0,07	3	213,8	88
		0,07-0,15	4	20,4	65
		0,20-0,30	4	34,8	58
		0,40-0,45	4	45,9	14
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0-0,07	4	357,1	50
		0,07-0,15	4	93,1	73
		0,20-0,30	4	39,8	54
		0,40-0,45	4	24,3	52
	Plantio direto	0-0,07	4	77,8	84
		0,07-0,15	4	27,1	62
		0,20-0,30	4	84,3	46
		0,40-0,45	4	83,5	39
Latossolo Vermelho distroférico	Mata	0-0,07	3	2704,5	21
		0,07-0,15	3	2174,6	73
		0,20-0,30	4	572,7	61
		0,40-0,45	4	618,2	111
	Plantio direto	0-0,07	4	130,7	41
		0,07-0,15	4	125,9	111
		0,20-0,30	4	151,7	111
		0,40-0,45	4	93,9	58

APÊNDICE J – Características físicas e químicas de sete solos sob duas condições de uso

Solo	Uso*	Profun- didade	pH	pH	Ds	Dp	Distribuição Granulométrica			C orgâni- co
			CaCl ₂	H ₂ O			Areia	Silte	Argila	
		m			--g cm ⁻³ --		-----g kg ⁻¹ -----			
Latos- solo Verme- lho eutrófico	M	0-0,05	-	-	0,85	2,67	77	365	558	-
		0,15-0,20	-	-	1,10	2,76	45	270	684	-
		0,30-0,35	-	-	1,08	2,74	31	148	821	-
	PD	0-0,05	-	-	1,17	2,83	77	477	446	27,8
		0,15-0,20	-	-	1,41	2,84	62	316	622	24,7
		0,30-0,35	-	-	1,23	2,82	38	206	756	12,8
Latos- solo Verme- lho alumi- noférico	M	0-0,05	-	-	0,56	2,61	53	269	678	56,8
		0,15-0,20	-	-	0,77	2,71	40	271	689	35,4
		0,30-0,35	-	-	0,84	2,77	37	290	673	29,1
	PD	0-0,05	-	-	1,14	2,77	43	297	660	37,6
		0,15-0,20	-	-	1,13	2,79	32	258	710	28,3
		0,30-0,35	-	-	1,05	2,78	32	262	706	20,9
Nitos- solo Verme- lho distrófi- co	M	0-0,05	-	-	0,76	2,54	22	197	781	54,5
		0,15-0,20	-	-	0,84	2,56	14	220	766	53,9
		0,30-0,35	-	-	0,87	2,65	12	274	714	44,7
	PD	0-0,05	-	-	1,05	2,66	20	294	685	48,1
		0,15-0,20	-	-	1,14	2,68	14	301	685	40,2
		0,30-0,35	-	-	1,03	2,69	10	266	724	33
Latos- solo Bruno alumí- nico	CN	0-0,05	-	-	1,07	2,69	118	394	488	52
		0,15-0,20	-	-	1,15	2,76	97	359	543	32,1
		0,30-0,35	-	-	1,13	2,75	79	310	611	26,8
	PD	0-0,05	-	-	1,08	2,6	69	269	663	48,1
		0,15-0,20	-	-	1,25	2,67	64	281	656	32,1
		0,30-0,35	-	-	1,11	2,69	52	262	686	27,2

* Uso do solo: M- mata, PD- plantio direto e CN- campo nativo

Continuação...

Solo	Uso*	Pro- fun- didade	pH	pH	Dp	Distribuição Granulométrica			C or- gâ- nico	Fe oxa- lato	Fe ditio- nito	Fe o / Fe d	Fe total
			CaCl ₂	H ₂ O		Areia	Silte	Argila					
Latossolo Verme- lho distrófico textura média	CN	m			-g cm ⁻³ -	-----g kg ⁻¹ -----							
		0-0,07	4,26	4,86	2,54	741	85	174	13,3	0,73	10,4	0,07	9,79
		0,07- 0,15	4,14	4,93	2,59	753	74	173	8,0	0,63	11,2	0,06	10,1
		0,20- 0,30	4,13	4,98	2,64	753	74	174	8,8	0,59	10,9	0,05	11,1
		0,40- 0,45	4,07	4,72	2,62	736	78	186	5,3	0,51	10,5	0,05	10,9
	PD	0-0,07	5,22	5,91	2,57	770	70	161	13,9	0,45	9,45	0,05	10,07
		0,07- 0,15	4,31	4,93	2,63	753	64	183	6,1	0,51	10,2	0,05	10,2
		0,20- 0,30	4,09	4,91	2,59	712	57	232	5,5	0,56	13,8	0,04	13,9
		0,40- 0,45	4,1	4,83	2,64	697	64	239	4,3	0,54	14,1	0,04	13,6
		Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	CN	0-0,07	4,41	4,94	2,71	175	297	528	58,8	2,71	93,69
0,07- 0,15	4,42			5,19	2,82	187	297	516	26,2	2,66	88,60	0,03	123,45
0,20- 0,30	4,36			5,18	2,82	162	280	558	21,6	2,48	98,75	0,03	124,08
0,40- 0,45	4,37			5,11	2,77	147	221	633	21,8	2,20	97,23	0,02	121,63
0-0,07	4,83			5,31	2,64	501	139	361	31,3	1,07	53,7	0,02	72,17
PD	0,07- 0,15		5,4	5,97	2,76	435	170	391	25,1	1,04	54,95	0,02	68,91
	0,20- 0,30		5,55	6,15	2,70	420	134	447	19,0	1,01	62,8	0,02	80,34
	0,40- 0,45		5,33	5,97	2,69	396	133	471	12,7	0,96	63,43	0,02	80,02

* Uso do solo: CN- campo nativo e PD- plantio direto

Continuação...

Solo	Uso*	Pro- fun- didade	pH	pH	Dp	Distribuição Granulométrica			C or- gâ- nico	Fe oxa- lato	Fe ditio- nito	Fe o /Fe d	Fe total
			CaCl ₂	H ₂ O		Areia	Silte	Argila					
Latossolo Vermelho distrofé- rico	MT	m			g cm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----							
		0-0,07	5,11	5,5	2,62	50	382	568	58,6	1,98	100,63	0,02	112,5
		0,07- 0,15	4,71	5,19	2,80	67,2	348,7	584	36,8	1,98	102,20	0,02	122,03
		0,20- 0,30	4,58	5,19	2,86	59,6	321,5	618,9	23,4	2,05	112,35	0,02	130,73
		0,40- 0,45	4,36	5,03	2,80	55,1	292	652,8	19,6	2,31	112,95	0,02	125,26
	PD	0-0,07	4,55	5,15	2,87	73,3	282,2	645	32,6	2,27	108,05	0,02	136,53
		0,07- 0,15	5,15	5,73	2,85	80	244	676	19,6	2,3	111,18	0,02	140,15
		0,20- 0,30	5,19	5,75	2,86	54	240	706	12,4	2,2	108,83	0,02	137,49
	0,40- 0,45	4,62	5,21	2,88	49	200	751	10,2	2,31	105,08	0,02	133,53	

* Uso do solo: M- mata e PD- plantio direto

APÊNDICE L – Condutividade do ar (K_i) em sete solos sob duas condições de uso

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	K _i					
			1	2	3	4	5	6
			-----cm d ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	3248,56	6497,11	617,23	-	-	-
		0,15-0,20	662,71	519,77	363,84	311,86	1624,28	5977,34
		0,30-0,35	1732,56	669,20	188,42	493,78	584,74	159,18
	Plantio direto	0-0,05	110,45	97,46	58,47	38,98	38,98	42,23
		0,15-0,20	110,45	42,23	103,95	48,73	32,49	-
		0,30-0,35	38,98	77,97	71,47	35,73	71,47	-
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	136,44	2144,05	3086,13	-	-	-
		0,15-0,20	714,68	454,80	714,68	870,61	396,32	-
		0,30-0,35	162,43	1396,88	1299,42	279,38	81,21	253,39
	Plantio direto	0-0,05	77,97	35,73	42,23	35,73	-	-
		0,15-0,20	71,47	168,92	29,24	45,48	-	-
		0,30-0,35	51,98	24,69	74,72	-	-	-
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	1949,13	714,68	3573,41	779,65	6497,11	1559,31
		0,15-0,20	233,90	1091,51	558,75	344,35	98,76	-
		0,30-0,35	90,96	350,84	149,43	162,43	77,97	-
	Plantio direto	0-0,05	12,34	116,95	8,45	25,34	23,39	16,89
		0,15-0,20	116,95	155,93	51,98	58,47	-	-
		0,30-0,35	149,43	97,46	155,93	58,47	48,73	-
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	71,47	22,09	24,69	168,92	14,94	6,50
		0,15-0,20	28,59	14,29	23,39	12,99	15,59	-
		0,30-0,35	25,99	21,44	9,75	14,29	25,99	-
	Plantio direto	0-0,05	38,98	55,23	18,19	409,32	-	-
		0,15-0,20	71,47	22,09	90,96	98,76	-	-
		0,30-0,35	81,21	61,72	149,43	98,76	61,72	-
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	110,45	42,23	58,47	90,96	-	-
		0,07-0,15	77,97	15,59	246,89	48,73	-	-
		0,20-0,30	18,84	77,97	38,98	90,96	-	-
		0,40-0,45	58,47	272,88	77,97	90,96	-	-
	Plantio direto	0-0,07	584,74	71,47	233,90	-	-	-
		0,07-0,15	12,34	17,54	17,54	45,48	-	-
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0,20-0,30	32,49	71,47	32,49	19,49	-	-
		0,40-0,45	38,98	55,23	45,48	45,48	-	-
		0-0,07	422,31	337,85	649,71	175,42	-	-
		0,07-0,15	25,99	123,45	97,46	240,39	-	-
	Plantio direto	0,20-0,30	25,99	42,23	29,24	77,97	-	-
		0,40-0,45	11,05	42,23	35,73	20,79	-	-
Latossolo Vermelho distroférico	Mata	0-0,07	71,47	32,49	71,47	220,90	-	-
		0,07-0,15	24,04	12,34	31,19	58,47	-	-
		0,20-0,30	77,97	42,23	107,20	142,94	-	-
		0,40-0,45	129,94	45,48	97,46	84,46	-	-
	Plantio direto	0-0,07	2988,67	3183,59	2079,08	-	-	-
		0,07-0,15	4807,86	2468,90	866,28	-	-	-

APÊNDICE M – Condutividade hidráulica saturada (K_s) de sete solos sob duas condições de uso

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	K_s cm h ⁻¹						
			1	2	3	4	5	6	7
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	134,87	327,66	127,89	104,64	105,01	108,13	-
		0,15-0,20	48,46	27,52	31,97	24,80	25,00	-	-
		0,30-0,35	14,78	46,38	18,60	6,20	23,51	12,67	-
	Plantio direto	0-0,05	105,80	1,54	29,19	6,98	70,92	-	-
		0,15-0,20	5,81	0,50	0,61	0,70	0,28	0,04	-
		0,30-0,35	0,50	0,52	3,10	1,05	1,69	-	-
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	120,74	240,12	441,81	-	-	-	-
		0,15-0,20	63,95	57,28	39,04	43,60	56,97	39,53	-
		0,30-0,35	32,68	32,86	100,41	58,01	19,95	18,36	-
	Plantio direto	0-0,05	1,43	2,33	1,19	4,23	0,17	0,08	-
		0,15-0,20	1,54	0,53	1,27	1,76	1,14	-	-
		0,30-0,35	2,96	5,35	0,27	2,26	2,72	4,39	-
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	124,10	118,59	55,96	48,22	118,59	116,39	-
		0,15-0,20	16,28	22,65	37,79	31,21	121,16	16,40	-
		0,30-0,35	0,31	14,22	23,13	48,15	29,86	5,53	-
	Plantio direto	0-0,05	127,89	21,85	0,02	0,64	0,54	-	-
		0,15-0,20	0,001	0,41	0,12	-	-	-	-
		0,30-0,35	0,01	0,61	1,16	5,81	11,63	1,51	-
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	1,47	0,58	0,39	2,35	0,001	22,96	-
		0,15-0,20	0,46	1,15	8,87	3,02	0,001	-	-
		0,30-0,35	0,19	0,07	0,12	2,31	0,001	-	-
	Plantio direto	0-0,05	0,001	3,45	3,30	0,23	0,29	55,03	-
		0,15-0,20	0,76	0,54	0,52	2,57	2,13	-	-
		0,30-0,35	0,53	0,76	0,70	1,06	0,70	3,60	-
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	-	-	-	-	-	-	-
		0,07-0,15	11,57	2,48	1,65	5,81	1,66	29,75	1,79
		0,20-0,30	-	-	-	-	-	-	-
	Plantio direto	0,40-0,45	15,14	16,96	21,31	10,76	14,95	20,03	16,30
		0-0,07	38,37	49,22	14,52	28,73	18,02	18,75	25,73
		0,07-0,15	1,12	3,95	2,39	10,83	2,02	3,41	1,19
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Plantio direto	0,20-0,30	0,80	2,09	2,31	3,09	2,73	2,27	4,15
		0,40-0,45	12,21	10,64	4,05	4,58	13,14	6,60	5,25
	Campo Nativo	0-0,07	-	-	-	-	-	-	-
		0,07-0,15	28,77	26,84	10,25	21,99	3,98	3,64	11,38
		0,20-0,30	-	-	-	-	-	-	-
		0,40-0,45	0,53	0,03	0,74	2,10	0,16	0,61	0,11
Latossolo Vermelho distroférrico	Mata	0-0,07	-	-	-	-	-	-	-
		0,07-0,15	84,69	88,04	70,58	88,48	88,74	95,26	91,87
		0,20-0,30	-	-	-	-	-	-	-
	Plantio direto	0,40-0,45	-	-	-	-	-	-	-
		0-0,07	1,76	32,39	0,05	2,45	0,10	1,33	4,06
		0,07-0,15	38,26	1,12	67,23	0,82	1,20	37,12	3,85
		0,20-0,30	20,80	7,76	2,30	2,00	9,41	0,20	4,64
		0,40-0,45	1,07	9,12	3,94	0,84	1,09	0,71	4,04

APÊNDICE N – Pressão de pré-consolidação (σ_p) de sete solos sob duas condições de uso

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	Pressão de pré-consolidação (-6 kPa*)					
			1	2	3	4	5	6
			-----kPa-----					
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0-0,05	28	6	11	19	9	-
		0,15-0,20	58	27	103	37	26	19
		0,30-0,35	25	58	53	39	66	41
	Plantio direto	0-0,05	68	56	39	56	49	57
		0,15-0,20	34	84	105	-	-	-
		0,30-0,35	70	102	61	95	68	-
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0-0,05	8	23	4	11	13	52
		0,15-0,20	40	53	45	34	-	-
		0,30-0,35	45	33	45	89	45	48
	Plantio direto	0-0,05	24	75	45	11	-	-
		0,15-0,20	70	23	50	79	-	-
		0,30-0,35	36	98	57	173	-	-
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata	0-0,05	20	33	36	44	35	39
		0,15-0,20	59	46	45	56	67	-
		0,30-0,35	60	67	59	43	35	-
	Plantio direto	0-0,05	44	65	57	37	70	51
		0,15-0,20	89	20	71	45	-	-
		0,30-0,35	36	57	46	76	32	-
Latossolo Bruno aluminico	Campo Nativo	0-0,05	51	72	51	61	57	46
		0,15-0,20	50	57	37	44	85	-
		0,30-0,35	78	99	107	52	54	-
	Plantio direto	0-0,05	39	47	188	-	-	-
		0,15-0,20	40	53	49	-	-	-
		0,30-0,35	55	49	63	59	48	-
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	66	28	63	56	-	-
		0,07-0,15	76	49	112	37	-	-
		0,20-0,30	103	53	93	85	-	-
		0,40-0,45	112	78	116	85	-	-
	Plantio direto	0-0,07	73	38	16	-	-	-
		0,07-0,15	42	37	53	56	-	-
		0,20-0,30	91	56	110	169	-	-
		0,40-0,45	111	76	115	105	-	-
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0-0,07	90	61	56	73	-	-
		0,07-0,15	74	124	84	66	-	-
		0,20-0,30	106	84	97	82	-	-
		0,40-0,45	80	123	103	79	-	-
	Plantio direto	0-0,07	94	72	59	123	-	-
		0,07-0,15	104	209	51	127	-	-
		0,20-0,30	150	93	147	147	-	-
		0,40-0,45	50	147	118	98	-	-
Latossolo Vermelho distroférrico	Mata	0-0,07	14	14	13	18	-	-
		0,07-0,15	18	10	18	7	-	-
		0,20-0,30	54	62	52	38	-	-
		0,40-0,45	84	69	64	116	-	-
	Plantio direto	0-0,07	91	34	91	48	-	-
		0,07-0,15	42	100	52	92	-	-
		0,20-0,30	35	192	92	94	-	-
		0,40-0,45	132	159	189	171	-	-

* Potencial matricial utilizado para equilibrar as amostras de solo antes da determinação da σ_p

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Profundidade m	Pressão de pré-consolidação (-30 kPa*)					
			1	2	3	4	5	6
			-----kPa-----					
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo Nativo	0-0,07	52	40	83		-	-
		0,07-0,15	70	43	61	77	-	-
		0,20-0,30	79	123	118	124	-	-
		0,40-0,45	103	88	137	138	-	-
	Plantio direto	0-0,07	37	17	64	45	-	-
		0,07-0,15	36	27	11	43	-	-
		0,20-0,30	263	32	43	58	-	-
		0,40-0,45	94	126	153	180	-	-
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo Nativo	0-0,07	56	57	76	89	-	-
		0,07-0,15	86	83	119	85	-	-
		0,20-0,30	110	68	61	139	-	-
		0,40-0,45	140	69	111		-	-
	Plantio direto	0-0,07	85	103	74	58	-	-
		0,07-0,15	60	51	227	137	-	-
		0,20-0,30	129	132	179		-	-
		0,40-0,45	161	119	35	189	-	-
Latossolo Vermelho distroférico	Mata	0-0,07	17	33	32	34	-	-
		0,07-0,15	158	26	14	16	-	-
		0,20-0,30	105	68	96	33	-	-
		0,40-0,45	47	59	89	64	-	-
	Plantio direto	0-0,07	61	95	42	109	-	-
		0,07-0,15	86	82	142	149	-	-
		0,20-0,30	111	158	119	120	-	-
		0,40-0,45	43	107	121	77	-	-

* Potencial matricial utilizado para equilibrar as amostras de solo antes da determinação da σ_p

APÊNDICE O – Densidade do solo, macro, micro e porosidade total de sete solos sob duas condições de uso

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)					
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	Ds (g cm ⁻³)	0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
			0,92	0,83	0,91	0,81	0,88	0,79
			29,03	27,23	28,06	33,03	26,49	30,24
		Mac %	36,35	31,65	34,05	33,39	35,30	32,98
			65,38	58,88	62,11	66,42	61,79	63,22
		Pt %	0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
			1,08	1,14	1,14	1,10	1,07	1,05
			16,62	20,27	20,25	22,51	21,10	23,11
			44,75	31,87	36,74	34,99	34,80	35,47
			61,36	52,13	56,99	57,50	55,90	58,58
	Plantio direto	Ds (g cm ⁻³)	0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
			1,18	1,06	1,05	1,03	1,11	1,04
			15,68	16,90	17,46	23,24	19,63	21,34
		Mac %	38,40	40,63	37,09	34,55	37,24	35,45
			54,08	57,53	54,55	57,78	56,87	56,79
		Pt %	0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
			1,11	1,40	1,01	1,03	1,21	1,28
			15,44	7,72	21,48	21,48	10,46	11,05
			39,11	43,64	32,30	33,37	42,98	42,50
			54,55	51,35	53,78	54,86	53,43	53,55
	Plantio direto	Ds (g cm ⁻³)	0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
			1,41	1,47	1,42	1,38	1,39	1,42
			6,80	5,50	7,07	7,04	6,24	7,51
		Mac %	41,30	41,89	42,15	40,86	41,56	41,46
			48,09	47,39	49,22	47,90	47,80	48,97
		Pt %	0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
			1,25	1,23	1,27	1,24	1,11	1,29
			8,19	9,75	7,16	8,91	11,64	9,39
			46,96	43,24	45,07	43,77	40,06	37,48
			55,15	52,99	52,23	52,68	51,70	46,88

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)							
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata		0-0,05							
			1	2	3	4	5	6		
			Ds (g cm ⁻³)	0,58	0,60	0,54	0,50	0,63	0,48	
			Mac %	32,28	33,64	35,57	41,06	37,88	33,28	
			Mic %	35,65	34,82	35,55	35,55	36,68	34,79	
			Pt %	67,94	68,47	71,12	76,61	74,56	68,07	
			0,15-0,20							
			1	2	3	4	5	6		
			Ds (g cm ⁻³)	0,80	0,75	0,79	0,79	0,76	0,74	
			Mac %	16,85	19,26	20,77	27,47	27,83	28,58	
			Mic %	49,38	44,52	42,61	40,34	40,16	40,11	
			Pt %	66,23	63,78	63,38	67,81	67,99	68,69	
			0,30-0,35							
			1	2	3	4	5	6		
			Ds (g cm ⁻³)	0,86	0,83	0,78	0,88	0,79	0,91	
			Mac %	23,49	22,37	25,37	21,70	23,23	18,21	
			Mic %	43,30	41,53	43,89	44,32	42,19	47,79	
			Pt %	66,79	63,90	69,26	66,02	65,42	66,00	
			Plantio direto		0-0,05					
					1	2	3	4	5	6
		Ds (g cm ⁻³)			1,27	1,11	1,10	1,13	1,12	1,09
		Mac %			4,55	10,04	10,46	8,48	5,40	11,33
		Mic %			47,57	48,58	46,48	48,00	45,01	45,75
		Pt %			52,12	58,62	56,95	56,48	50,41	57,09
	0,15-0,20									
	1	2			3	4	5	6		
	Ds (g cm ⁻³)	1,15			1,13	1,13	1,14	1,08	1,15	
	Mac %	9,68			10,86	7,53	8,93	9,41	10,20	
	Mic %	44,52			46,01	48,17	46,33	47,25	46,43	
	Pt %	54,20			56,86	55,70	55,25	56,66	56,63	
	0,30-0,35									
	1	2			3	4	5	6		
	Ds (g cm ⁻³)	1,01			1,08	1,07	0,96	1,08	1,11	
	Mac %	10,75			7,63	9,23	13,78	15,00	7,72	
	Mic %	47,84			47,84	49,17	43,69	46,41	49,07	
	Pt %	58,59			55,46	58,40	57,47	61,41	56,79	

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)						
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata		0-0,05						
			1	2	3	4	5	6	
		Ds (g cm ⁻³)	0,79	0,80	0,71	0,78	0,76	0,71	
		Mac %	17,71	19,56	23,86	24,22	17,28	24,88	
		Mic %	44,85	45,38	41,57	45,86	44,97	41,03	
		Pt %	62,57	64,94	65,43	70,08	62,25	65,91	
			0,15-0,20						
			1	2	3	4	5	6	
			Ds (g cm ⁻³)	0,82	0,81	0,87	0,77	0,89	0,90
			Mac %	18,94	21,84	18,46	23,43	16,07	17,66
			Mic %	50,79	46,04	48,76	42,99	49,20	47,88
			Pt %	69,73	67,89	67,21	66,41	65,27	65,54
			0,30-0,35						
			1	2	3	4	5	6	
			Ds (g cm ⁻³)	0,95	0,88	0,96	0,76	0,92	0,74
			Mac %	11,09	17,16	14,75	22,49	16,53	26,88
			Mic %	48,82	46,28	46,57	43,93	46,93	39,70
			Pt %	59,91	63,44	61,32	66,43	63,46	66,58
		Plantio direto		0-0,05					
				1	2	3	4	5	6
			Ds (g cm ⁻³)	0,93	1,17	1,15	1,15	1,15	0,79
			Mac %	10,31	1,00	4,63	6,78	6,46	25,49
			Mic %	48,60	48,91	51,15	51,29	50,28	36,29
			Pt %	58,91	49,91	55,79	58,07	56,73	61,78
			0,15-0,20						
			1	2	3	4	5	6	
			Ds (g cm ⁻³)	1,11	1,19	1,09	1,15	1,08	1,19
			Mac %	6,03	0,22	7,59	6,73	8,34	5,70
			Mic %	49,54	45,25	49,78	50,79	48,84	47,51
			Pt %	55,58	45,47	57,37	57,52	57,18	53,21
		0,30-0,35							
		1	2	3	4	5	6		
		Ds (g cm ⁻³)	1,00	1,08	1,09	0,92	1,06	1,04	
		Mac %	7,42	5,50	8,79	15,68	10,21	10,32	
		Mic %	46,98	50,26	49,40	47,67	49,42	47,20	
		Pt %	54,40	55,75	58,19	63,35	59,62	57,52	

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)					
Latossolo Bruno aluminico	Campo nativo	Ds (g cm ⁻³) Mac % Mic % Pt %	0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
			1,08	1,07	1,06	1,10	1,07	1,03
			5,09	6,38	5,94	6,28	3,79	5,16
			58,27	54,39	55,40	53,48	54,79	55,88
			63,37	60,77	61,34	59,77	58,58	61,04
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
			1,20	1,15	1,18	1,12	1,08	1,17
			5,28	5,12	3,53	7,38	8,00	1,12
			53,12	50,49	48,57	52,90	49,47	46,22
			58,39	55,61	52,10	60,27	57,47	47,34
	Plantio direto	Ds (g cm ⁻³) Mac % Mic % Pt %	0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
			1,11	1,11	1,14	1,13	1,13	1,14
			9,61	7,86	6,98	7,51	8,05	7,87
			48,14	46,59	49,07	50,79	48,32	48,31
			57,75	54,45	56,05	58,30	56,37	56,19
			0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
			0,84	1,04	1,16	1,15	1,11	1,16
			22,74	11,42	8,91	1,64	11,27	6,86
			37,26	45,61	47,91	48,00	46,67	50,26
			60,00	57,03	56,82	49,64	57,95	57,12
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
			1,24	1,22	1,31	1,23	1,19	1,29
			6,79	8,59	3,25	9,88	10,04	5,48
			44,64	48,19	47,71	44,69	44,24	46,62
			51,43	56,78	50,97	54,57	54,28	52,10
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
			1,15	1,06	1,12	1,09	1,13	1,14
			6,91	11,99	10,06	9,12	9,03	9,65
			47,58	46,91	47,28	47,49	47,21	47,34
			54,49	58,90	57,34	56,61	56,24	56,99

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)		
			0,07-0,15		
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo nativo		1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,64	1,60	1,58
		Mac %	10,38	12,48	11,18
		Mic %	22,34	21,68	22,26
		Pt %	32,72	34,16	33,44
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,37	1,50	-
		Mac %	23,56	22,17	-
		Mic %	18,63	19,96	-
		Pt %	42,19	42,13	-
	Plantio direto		0-0,07		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,47	1,36	-
		Mac %	9,44	8,93	-
		Mic %	30,18	36,36	-
		Pt %	39,62	45,29	-
			0,07-0,15		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,56	1,65	1,66
		Mac %	7,60	6,54	5,05
		Mic %	23,83	26,84	26,33
		Pt %	31,44	33,37	31,38
			0,20-0,30		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,65	1,54	1,58
		Mac %	4,11	6,49	4,57
		Mic %	27,05	28,09	27,49
		Pt %	31,16	34,57	32,05
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,52	1,50	1,46
		Mac %	9,17	10,83	13,79
		Mic %	29,79	29,25	28,98
		Pt %	38,96	40,08	42,77

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)		
			0,07-0,15		
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo nativo		1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,27	1,29	1,19
		Mac %	13,43	12,23	13,18
		Mic %	42,60	41,08	40,28
		Pt %	56,03	53,30	53,46
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,29	1,31	1,33
		Mac %	9,31	6,66	5,42
		Mic %	40,78	41,89	42,72
		Pt %	50,10	48,55	48,14
	Plantio direto		0-0,07		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,47	1,51	1,52
		Mac %	3,50	3,93	3,45
		Mic %	37,86	37,04	37,53
		Pt %	41,37	40,98	40,98
			0,07-0,15		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,61	1,54	1,61
		Mac %	5,38	5,47	4,04
		Mic %	32,61	34,52	34,97
		Pt %	37,98	39,99	39,01
			0,20-0,30		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,44	1,38	1,42
		Mac %	6,68	6,20	5,73
		Mic %	37,20	37,72	37,38
		Pt %	43,88	43,91	43,11
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,38	1,41	1,38
		Mac %	6,20	6,37	6,97
		Mic %	37,72	37,75	37,09
		Pt %	43,91	44,12	44,06

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Propriedades físicas	Profundidade (m)		
			0,07-0,15		
Latossolo Vermelho distroférico	Mata		1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	0,79	0,89	-
		Mac %	37,52	32,35	-
		Mic %	29,38	32,56	-
		Pt %	66,90	64,92	-
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	-	-	-
		Mac %	-	-	-
		Mic %	-	-	-
		Pt %	-	-	-
	Plantio direto		0-0,07		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,28	1,36	1,40
		Mac %	6,75	10,58	9,51
		Mic %	44,84	43,44	41,32
		Pt %	51,59	54,02	50,83
			0,07-0,15		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,38	1,33	1,38
		Mac %	8,93	13,89	9,16
		Mic %	60,52	57,55	59,78
		Pt %	69,45	71,44	68,94
			0,20-0,30		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,35	1,37	1,36
		Mac %	3,17	5,91	4,79
		Mic %	42,05	44,12	43,20
		Pt %	45,22	50,03	47,99
			0,40-0,45		
			1	2	3
		Ds (g cm ⁻³)	1,28	1,20	1,23
		Mac %	4,19	8,44	7,43
		Mic %	48,44	43,93	45,54
		Pt %	52,63	52,37	52,97

APÊNDICE P – Conteúdo de água retido em diferentes potenciais matriciais, para sete solos sob duas condições de uso

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)					
			Profundidade (m)					
			0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
Latossolo Vermelho eutrófico	Mata	0	0,71	0,71	0,68	0,82	0,70	0,81
		1	0,51	0,52	0,52	0,54	0,52	0,58
		6	0,40	0,38	0,37	0,41	0,40	0,42
		10	0,38	0,37	0,36	0,40	0,38	0,40
		30	0,35	0,33	0,32	0,38	0,36	0,39
		100	0,34	0,30	0,31	0,36	0,34	0,35
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,57	0,46	0,50	0,52	0,52	0,56
		1	0,52	0,38	0,41	0,43	0,43	0,45
		6	0,42	0,28	0,32	0,32	0,33	0,34
		10	0,40	0,26	0,31	0,31	0,31	0,32
		30	0,37	0,22	0,28	0,28	0,29	0,30
		100	0,36	0,21	0,27	0,27	0,27	0,28
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,46	0,54	0,52	0,56	0,51	0,54
		1	0,40	0,44	0,41	0,46	0,42	0,44
		6	0,33	0,38	0,35	0,33	0,34	0,34
		10	0,32	0,37	0,33	0,32	0,32	0,32
		30	0,29	0,28	0,33	0,30	0,30	0,30
		100	0,28	0,27	0,32	0,28	0,29	0,28
	Plantio direto		0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,49	0,37	0,53	0,53	0,44	0,42
		1	0,46	0,34	0,44	0,42	0,41	0,39
		6	0,35	0,31	0,32	0,32	0,35	0,33
		10	0,33	0,30	0,30	0,30	0,33	0,31
		30	0,30	0,28	0,27	0,28	0,31	0,28
		100	0,27	0,26	0,25	0,26	0,28	0,26
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,34	0,32	0,35	0,35	0,34	0,35
		1	0,32	0,31	0,33	0,33	0,32	0,33
		6	0,29	0,28	0,30	0,30	0,30	0,29
		10	0,29	0,28	0,29	0,28	0,29	0,28
		30	0,26	0,26	0,28	0,27	0,28	0,27
		100	0,26	0,25	0,26	0,25	0,26	0,25
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,36	0,43	0,41	0,42	0,46	0,44
		1	0,33	0,39	0,39	0,40	0,42	0,41
		6	0,29	0,35	0,36	0,35	0,36	0,37
		10	0,29	0,33	0,34	0,34	0,34	0,37
		30	0,26	0,31	0,31	0,31	0,31	0,34
		100	0,24	0,29	0,29	0,29	0,29	0,33

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)					
			Profundidade (m)					
			0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
Latossolo Vermelho aluminoférrico	Mata	0	1,16	1,13	1,32	1,54	1,18	1,42
		1	0,85	0,93	0,91	1,04	0,93	1,01
		6	0,61	0,58	0,66	0,71	0,58	0,73
		10	0,59	0,54	0,64	0,50	0,55	0,70
		30	0,53	0,47	0,58	0,53	0,51	0,62
		100	0,50	0,44	0,54	0,51	0,47	0,60
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,83	0,86	0,80	0,86	0,89	0,93
		1	0,71	0,72	0,69	0,72	0,74	0,75
		6	0,62	0,60	0,54	0,51	0,53	0,54
		10	0,57	0,54	0,50	0,48	0,50	0,52
		30	0,49	0,45	0,43	0,43	0,43	0,49
		100	0,45	0,43	0,42	0,41	0,41	-
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,78	0,77	0,88	0,75	0,83	0,73
		1	0,68	0,67	0,73	0,65	0,69	0,63
		6	0,50	0,50	0,56	0,51	0,54	0,53
		10	0,47	0,46	0,53	0,49	0,51	0,52
		30	0,41	0,41	0,46	0,43	0,45	0,47
		100	0,39	-	0,43	0,40	0,43	0,41
	Plantio direto		0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,41	0,53	0,52	0,50	0,45	0,53
		1	0,39	0,50	0,49	0,46	0,43	0,49
		6	0,37	0,44	0,42	0,43	0,40	0,42
		10	0,37	0,42	0,41	0,41	0,39	0,39
		30	0,34	0,37	0,36	0,37	0,36	0,36
		100	0,32	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,47	0,50	0,49	0,48	0,52	0,49
		1	0,44	0,46	0,46	0,45	0,48	0,46
		6	0,39	0,41	0,43	0,41	0,44	0,40
		10	0,38	0,39	0,42	0,39	0,42	0,39
		30	0,34	0,36	0,39	0,36	0,39	0,37
		100	0,32	0,34	0,37	0,34	0,38	0,35
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,58	0,51	0,55	0,60	0,57	0,51
		1	0,53	0,48	0,51	0,52	0,51	0,48
		6	0,47	0,44	0,46	0,46	0,43	0,44
		10	0,45	0,43	0,45	0,44	0,41	0,43
		30	0,41	0,40	0,40	0,40	0,37	0,40
		100	0,38	0,38	0,38	0,38	0,35	0,38

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)					
			Profundidade (m)					
			0-0,05					
Nitossolo Vermelho distrófico	Mata		1	2	3	4	5	6
		0	0,79	0,82	0,92	0,90	0,82	0,92
		1	0,65	0,68	0,73	0,70	0,71	0,71
		6	0,57	0,57	0,59	0,59	0,59	0,57
		10	0,55	0,54	0,56	0,57	0,56	0,56
		30	0,52	0,49	0,51	0,53	0,52	0,50
		100	0,49	0,46	0,47	0,50	0,48	0,48
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,86	0,84	0,77	0,86	0,73	0,73
		1	0,76	0,71	0,70	0,71	0,64	0,65
		6	0,62	0,57	0,56	0,56	0,55	0,53
		10	0,60	0,55	0,53	0,53	0,53	0,51
		30	0,54	0,48	0,46	0,47	0,49	0,48
		100	0,51	0,46	0,43	0,44	0,44	0,45
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,63	0,72	0,64	0,88	0,69	0,90
		1	0,59	0,63	0,56	0,75	0,59	0,69
		6	0,52	0,52	0,49	0,58	0,51	0,54
		10	0,49	0,50	0,46	0,55	0,45	0,51
		30	0,44	0,45	0,43	0,51	0,44	0,48
		100	0,42	0,42	0,41	0,44	0,42	0,42
	Plantio direto		0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,64	0,43	0,48	0,51	0,49	0,78
		1	0,60	0,44	0,48	0,48	0,47	0,59
		6	0,53	0,42	0,44	0,45	0,44	0,46
		10	0,50	0,41	0,43	0,44	0,42	0,44
		30	0,45	0,38	0,39	0,40	0,39	0,39
		100	0,40	0,35	0,36	0,37	0,36	0,37
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,50	0,38	0,53	0,50	0,53	0,45
		1	0,48	0,39	0,49	0,48	0,50	0,43
		6	0,45	0,38	0,46	0,44	0,45	0,40
		10	0,43	0,38	0,44	0,43	0,44	0,39
		30	0,41	0,36	0,41	0,40	0,41	0,36
		100	0,39	0,35	0,40	0,38	0,39	0,34
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,54	0,52	0,53	0,69	0,56	0,55
		1	0,52	0,50	0,50	0,61	0,52	0,51
		6	0,47	0,47	0,45	0,52	0,47	0,45
		10	0,45	0,45	0,44	0,50	0,46	0,44
		30	0,42	0,43	0,41	0,44	0,42	0,41
		100	0,40	0,41	0,39	0,41	0,41	0,39

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)					
			Profundidade (m)					
			0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
Latossolo Bruno aluminico	Campo nativo	0	0,59	0,57	0,58	0,54	0,55	0,59
		1	0,56	0,54	0,55	0,52	0,53	0,58
		6	0,54	0,51	0,52	0,49	0,51	0,54
		10	0,53	0,49	0,51	0,48	0,47	0,54
		30	0,50	0,46	0,47	0,44	0,46	0,51
		100	0,46	0,43	0,44	0,41	0,45	0,47
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,49	0,48	0,44	0,54	0,53	0,41
		1	0,47	0,47	0,43	0,51	0,51	0,40
		6	0,44	0,44	0,41	0,47	0,46	0,40
		10	0,43	0,42	0,40	0,46	0,45	0,39
		30	0,40	0,39	0,38	0,42	0,42	0,38
		100	0,38	0,36	0,37	0,39	0,38	0,35
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,52	0,49	0,49	0,51	0,50	0,49
		1	0,48	0,46	0,48	0,49	0,47	0,47
		6	0,43	0,42	0,43	0,45	0,43	0,43
		10	0,42	0,41	0,42	0,44	0,41	0,39
		30	0,39	0,39	0,38	0,40	0,38	0,38
		100	0,37	0,37	0,36	0,37	0,36	0,36
	Plantio direto		0-0,05					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,72	0,55	0,49	0,43	0,52	0,49
		1	0,59	0,50	0,45	0,43	0,47	0,46
		6	0,44	0,44	0,41	0,42	0,42	0,43
		10	0,43	0,43	0,40	0,41	0,41	0,42
		30	0,38	0,38	0,37	0,39	0,37	0,40
		100	0,34	0,35	0,35	0,37	0,35	0,36
			0,15-0,20					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,42	0,47	0,39	0,44	0,46	0,40
		1	0,40	0,44	0,37	0,41	0,43	0,39
		6	0,36	0,40	0,36	0,36	0,37	0,36
		10	0,35	0,38	0,34	0,36	0,36	0,35
		30	0,32	0,36	0,32	0,33	0,34	0,33
		100	0,31	0,34	0,27	0,31	0,33	0,32
			0,30-0,35					
			1	2	3	4	5	6
		0	0,47	0,56	0,51	0,52	0,50	0,50
		1	0,45	0,50	0,47	0,48	0,46	0,46
		6	0,41	0,44	0,42	0,43	0,42	0,42
		10	0,40	0,43	0,41	0,42	0,41	0,38
		30	0,37	0,39	0,38	0,39	0,38	0,38
		100	0,35	0,37	0,36	0,36	0,35	0,36

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)			Uso	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)		
			Profundidade (m)				Profundidade (m)		
Latossolo Vermelho distrófico textura média	Campo nativo		0-0,07			Plantio direto	0-0,07		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,27	0,33	-
		1	-	-	-		0,24	0,32	-
		3	-	-	-		0,21	0,28	-
		6	-	-	-		0,21	0,27	-
		15	-	-	-		0,16	0,15	-
		30	-	-	-		0,13	0,16	-
		50	-	-	-		0,16	0,16	-
		100	-	-	-		0,12	0,11	-
		300	-	-	-		0,07	0,09	-
	Campo nativo		0,07-0,15			Plantio direto	0,07-0,15		
			1	2	3		1	2	3
		0	0,20	0,21	0,21		0,20	0,20	0,19
		1	0,20	0,21	0,21		0,19	0,19	0,18
		3	-	-	-		0,18	0,20	0,19
		6	0,19	0,19	0,19		0,15	0,16	0,16
		15	0,14	0,14	0,14		0,12	0,13	0,13
		30	0,11	0,11	0,11		0,11	0,12	0,16
		50	0,12	0,12	0,11		0,11	0,12	0,15
		100	0,09	0,09	0,09		0,10	0,13	0,11
		300	0,08	0,08	0,07		0,08	0,09	0,09
	Campo nativo		0,20-0,30			Plantio direto	0,20-0,30		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,19	0,23	0,20
		1	-	-	-		0,18	0,21	0,20
		3	-	-	-		0,18	0,20	0,19
		6	-	-	-		0,16	0,18	0,17
		15	-	-	-		0,15	0,16	0,16
		30	-	-	-		0,14	0,14	0,13
		50	-	-	-		0,12	0,12	0,12
		100	-	-	-		0,13	0,15	0,12
		300	-	-	-		0,09	0,10	0,10
	Campo nativo		0,40-0,45			Plantio direto	0,40-0,45		
			1	2	3		1	2	3
		0	0,31	0,28	-		0,26	0,27	0,29
		1	0,29	0,28	-		0,25	0,26	0,28
		3	-	-	-		0,23	0,23	0,25
		6	0,24	0,24	-		0,20	0,20	0,20
		15	0,14	0,13	-		0,16	0,16	0,16
		30	0,11	0,11	-		0,14	0,18	0,14
		50	0,10	0,11	-		0,13	0,18	0,12
		100	0,09	0,09	-		0,12	0,16	0,12
		300	0,08	0,08	-		0,10	0,10	0,10

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)			Uso	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)		
			Profundidade (m)				Profundidade (m)		
Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa	Campo nativo		0-0,07			Plantio direto	0-0,07		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,28	0,27	0,27
		1	-	-	-		0,26	0,26	0,25
		3	-	-	-		0,26	0,25	0,25
		6	-	-	-		0,26	0,25	0,25
		15	-	-	-		0,25	0,24	0,24
		30	-	-	-		0,24	0,22	0,23
		50	-	-	-		0,23	0,20	0,22
		100	-	-	-		0,22	0,19	0,21
		300	-	-	-		0,19	0,17	0,18
	Campo nativo		0,07-0,15			Plantio direto	0,07-0,15		
			1	2	3		1	2	3
		0	0,44	0,41	0,45		0,24	0,26	0,24
		1	0,41	0,38	0,45		0,22	0,24	0,23
		3	-	-	-		0,22	0,24	0,23
		6	0,37	0,35	0,37		0,20	0,22	0,22
		15	0,33	0,32	0,34		0,19	0,22	0,21
		30	0,31	0,30	0,32		0,18	0,21	0,19
		50	0,31	0,30	0,31		0,17	0,20	0,18
		100	0,29	0,28	0,29		0,17	0,20	0,18
		300	0,27	0,26	0,27		0,15	0,18	0,16
	Campo nativo		0,20-0,30			Plantio direto	0,20-0,30		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,30	0,32	0,30
		1	-	-	-		0,28	0,31	0,28
		3	-	-	-		0,27	0,29	0,28
		6	-	-	-		0,26	0,27	0,26
		15	-	-	-		0,24	0,26	0,25
		30	-	-	-		0,23	0,24	0,23
		50	-	-	-		0,22	0,23	0,22
		100	-	-	-		0,21	0,22	0,21
		300	-	-	-		0,19	0,21	0,19
	Campo nativo		0,40-0,45			Plantio direto	0,40-0,45		
			1	2	3		1	2	3
		0	0,39	0,37	0,36		0,32	0,31	0,32
		1	0,38	0,38	0,37		0,30	0,28	0,29
		3	-	-	-		0,29	0,28	0,28
		6	0,36	0,37	0,35		0,27	0,27	0,27
		15	0,32	0,32	0,32		0,25	0,25	0,25
		30	0,29	0,30	0,31		0,24	0,25	0,24
		50	0,29	0,29	0,31		0,23	0,24	0,22
		100	0,28	0,27	0,28		0,22	0,22	0,21
		300	0,26	0,26	0,27		0,19	0,23	0,19

Continuação...

Tipo de solo	Uso	Potencial matricial (-kPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)			Uso	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)		
			Profundidade (m)				Profundidade (m)		
Latosolo Vermelho distroférico	Mata		0-0,07			Plantio direto	0-0,07		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,40	0,40	0,36
		1	-	-	-		0,37	0,36	0,34
		3	-	-	-		0,36	0,34	0,34
		6	-	-	-		0,35	0,32	0,30
		15	-	-	-		0,33	0,30	0,33
		30	-	-	-		0,32	0,29	0,31
		50	-	-	-		0,32	0,30	0,31
		100	-	-	-		0,30	0,29	0,30
	300	-	-	-	0,28	0,28	0,28		
	Mata		0,07-0,15			Plantio direto	0,07-0,15		
			1	2	3		1	2	3
		0	0,85	0,73	-		0,35	0,37	0,35
		1	0,61	0,58	-		0,32	0,33	0,33
		3	-	-	-		0,31	0,31	0,31
		6	0,46	0,46	-		0,27	0,28	0,25
		15	0,37	0,37	-		0,30	0,29	0,29
		30	0,36	0,35	-		0,29	0,28	0,28
		50	0,36	0,34	-		0,28	0,28	0,27
		100	0,33	0,31	-		0,27	0,27	0,27
	300	0,30	0,30	-	0,25	0,25	0,25		
	Mata		0,20-0,30			Plantio direto	0,20-0,30		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,34	0,36	0,35
		1	-	-	-		0,32	0,33	0,32
		3	-	-	-		0,32	0,33	0,33
		6	-	-	-		0,31	0,32	0,32
		15	-	-	-		0,31	0,31	0,30
		30	-	-	-		0,29	0,30	0,30
		50	-	-	-		0,29	0,30	0,31
		100	-	-	-		0,29	0,29	0,29
	300	-	-	-	0,27	0,27	0,27		
	Mata		0,40-0,45			Plantio direto	0,40-0,45		
			1	2	3		1	2	3
		0	-	-	-		0,41	0,44	0,43
		1	-	-	-		0,39	0,39	0,39
		3	-	-	-		0,39	0,38	0,38
		6	-	-	-		0,38	0,37	0,37
		15	-	-	-		0,35	0,35	0,36
		30	-	-	-		0,34	0,33	0,35
		50	-	-	-		0,34	0,35	0,35
		100	-	-	-		0,33	0,33	0,36
	300	-	-	-	0,31	0,29	0,31		