UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Ricardo Garcia Aratani
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Abril de 2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Ricardo Garcia Aratani

Orientador: Prof. Dr. José Frederico Centurion

Co-orientador: Dr. Onã da Silva Freddi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Abril de 2008

Aratani, Ricardo Garcia
A663q Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo / Ricardo Garcia Aratani. – – Jaboticabal, 2008
xviii, 112 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: José Frederico Centurion
Banca examinadora: Aildson Pereira Duarte, Edson Lazarini, Itamar Andrioli, Isabela Clerici de Maria
Bibliografia

1. Agregação do solo. 2. Índice S. 3. Fertilidade do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.425

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RICARDO GARCIA ARATANI – nascido aos 30 dias do mês de maio de 1979, na cidade de Barretos – SP, concluiu o ensino básico na EEPG Vicencina Aparecida Vacaro Morsoleto em 1993, o ensino médio na EEPSG Enoch Garcia Leal e o Curso Técnico em Contabilidade no Colégio Ouro Branco em 1996, todas na cidade de Guaíra – SP. Em 1997 ingressou no curso de Agronomia da Faculdade de Engenharia – UNESP/Ilha Solteira, onde em 2001 obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em 2002 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Sistemas de Produção, da Faculdade de Engenharia – UNESP/Ilha Solteira, obtendo o título de Mestre em 2003. Em 2003 foi aprovado em processo seletivo para atuar como pesquisador conveniado em projeto de pesquisa em Manejo do Solo na região de Assis – SP, coordenado pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC e APTA Médio Paranapanema. Em 2005, foi aceito para ingressar no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/Jaboticabal. Em 2006 foi aprovado em concurso público para o cargo de Perito Federal Agrário do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, na Superintendência Regional do Mato Grosso.

OFEREÇO

À família e aos amigos, que sempre me ampararam, incentivaram e fortaleceram.

DEDICO

Aos meus pais, Celso e Sônia, pelo exemplo e dedicação na criação dos filhos e à minha noiva Larissa, pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Jaboticabal e ao Departamento de Solos e Adubos, que possibilitaram a realização deste trabalho;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo importante apoio financeiro na concessão de bolsa e auxílio pesquisa;

Ao Professor Dr. José Frederico Centurion, pela oportunidade de aperfeiçoamento dos conhecimentos, pela orientação, compreensão e amizade;

Ao Eng. Agr. Dr. Onã da Silva Freddi, pelo apoio e orientação na condução deste trabalho e pelos bons momentos de descontração;

Ao Eng. Agr. Dr. Aildson Pereira Duarte, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA Médio Paranapanema, pelo exemplo de profissional, pelo apoio logístico à realização das coletas de campo em Pedrinhas Paulista (SP) e pelo incentivo;

Ao Eng. Agr. Cândido Miele Junior, extensionista da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, da Casa da Agricultura de Guaíra (SP), pela apoio na indicação das áreas avaliadas;

Aos professores do Departamento de Solos e Adubos da FCAV, pelo conhecimento transmitido;

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV, que compartilharam suas experiências nos trabalhos de campo e de laboratório e no convívio diário;

Aos colegas de curso pelas sugestões, discussões e harmonioso convívio;

Aos agricultores: Fernando de Oliveira Carvalho e Rafael Takahashi, proprietários das áreas avaliadas em Guaíra (SP) e André Vicentini, Antônio Di Loreto e Luigi Tovo, proprietários das áreas avaliadas em Pedrinhas Paulista (SP), por entender a importância da pesquisa científica;

Aos amigos de todas as horas e à minha família, pelo apoio e incentivo, fatores determinantes para o fechamento de mais esta etapa.

Muito obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Qualidade do solo.....	04
2.1.1. Densidade e porosidade.....	05
2.1.2. Resistência à penetração.....	06
2.1.3. Densidade relativa.....	07
2.1.4. Condutividade hidráulica saturada.....	08
2.1.5. Matéria orgânica e agregação do solo.....	09
2.1.6. Curva de retenção de água e Índice S.....	10
2.1.7. Fertilidade do solo.....	11
2.2. Sistema plantio direto em diferentes ambientes de produção.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Áreas experimentais.....	16
3.1.1. Caracterização das regiões.....	16
3.1.2. Solos.....	18
3.2. Descrição dos tratamentos.....	19
3.3. Determinações.....	23
3.3.1. Avaliação da estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração.....	23
3.3.2. Avaliação da densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade relativa.....	25
3.3.3. Determinação das curvas de retenção de água no solo e do Índice S.....	26
3.3.4. Análise granulométrica e fertilidade dos solos.....	27
3.3.5. Avaliação na cultura da soja.....	28
3.4. Análise dos dados.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Análise granulométrica dos solos.....	32

4.2. Matéria orgânica e estabilidade de agregados..... 32
4.3. Condutividade hidráulica..... 39
4.4. Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade... 42
4.5. Densidade relativa..... 48
4.6. Resistência do solo à penetração..... 52
4.7. Curvas de retenção de água no solo e Índice S..... 55
4.8. Análise química do solo..... 67
4.9. Produção da cultura da soja..... 73
4.10. Análise multivariada..... 74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 93
6. CONCLUSÕES..... 95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 96
APÊNDICES..... 112

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Rotação de culturas adotada no sistema das áreas PD15 e PD8 em Pedrinhas Paulista.....	22
2	Sucessão de culturas adotada no sistema da área PD8S em Pedrinhas Paulista.....	23
3	Nomes, coeficientes e efeitos dos contrastes entre os tratamentos em Guaíra.....	29
4	Nomes, coeficientes e efeitos dos contrastes entre os tratamentos em Pedrinhas Paulista.....	29
5	Variáveis físicas e químicas do solo utilizadas na análise multivariada.....	30
6	Conteúdo médio na camada de 0-0,30 m, de areia grossa, areia fina, silte e argila dos Latossolos de Guaíra e Pedrinhas Paulista...	32
7	Porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (Agreg), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de sensibilidade (IS) e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVwf.....	33
8	Porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (Agreg), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de sensibilidade (IS) e teste F para os contrastes estabelecidos para cada profundidade no LVef.....	37
9	Condutividade hidráulica saturada do solo e teste F para os contrastes estabelecidos no LVwf.....	39
10	Condutividade hidráulica saturada e teste F para os contrastes estabelecidos no LVef.....	41
11	Densidade do solo (Ds), porosidade total, macroporosidade e microporosidade e teste F para os contrastes estabelecidos para	

cada camada no LVwf..... 44
12 Densidade do solo (Ds), porosidade total, macroporosidade e microporosidade e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVef..... 47
13 Densidade relativa e teste F para os contrastes estabelecidos em Guaíra..... 50
14 Densidade relativa e teste F para os contrastes estabelecidos em Pedrinhas Paulista..... 52
15 Resultado da análise química do LVwf em função dos sistemas avaliados..... 68
16 Resultado da análise química do LVef em função dos sistemas avaliados..... 72
17 Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos, considerando-se a camada de 0-0,10 m..... 75
18 Correlação entre cada componente principal e as propriedades fisicas e quimicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos, para a camada de 0-0,10 m..... 80
19 Tabela 19. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos, considerando-se a camada de 0,10-0,20 m..... 82
20 Correlação entre cada componente principal e as propriedades fisicas e quimicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos, para a camada de 0,10-0,20 m..... 86
21 Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para a camada de 0,20-0,30 m de Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos..... 88
22 Correlação entre cada componente principal e a matéria orgânica

(MO), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), satuação por bases (V%) e alumínio (Al), para a camada de 0,20-0,30 m dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos..... 91

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura em Guaíra. Fonte: CIIAGRO (2006).....	17
2	Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura em Pedrinhas Paulista. Fonte: CIIAGRO (2006).....	18
3	Teores de matéria orgânica (MO) e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três profundidades no LVwf.....	35
4	Teores de matéria orgânica (MO) e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três profundidades no LVef.....	38
5	Condutividade hidráulica do LVwf nas duas profundidades, em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.....	40
6	Condutividade hidráulica do LVef nas duas profundidades, em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.....	42
7	Densidade máxima determinada com o aparelho de Proctor no Latossolo Vermelho acriférrico típico (LVwf).....	49
8	Densidade máxima determinada com o aparelho de Proctor no Latossolo Vermelho eutroférrico típico (LVef).....	51
9	Resistência do solo à penetração do LVwf em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.....	53

10	Resistência do solo à penetração do LVef em função dos sistemas. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.....	54
11	Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0-0,10 m, em função dos tratamentos.....	56
12	Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0,10-0,20 m, em função dos tratamentos.....	56
13	Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0,20-0,30 m, em função dos tratamentos.....	57
14	Curvas de retenção de água no solo na camada 0-0,10 m em função dos tratamentos no LVef.....	58
15	Curvas de retenção de água no solo na camada 0,10-0,20 m em função dos tratamentos no LVef.....	58
16	Curvas de retenção de água no solo na camada 0,20-0,30 m em função dos tratamentos no LVef.....	59
17	Valores de Índice S e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três profundidades no LVwf.....	60
18	Regressão da macroporosidade do LVwf em função do índice S. (n = 60).....	61
19	Regressão da microporosiade do LVwf em função do índice S. (n = 60).....	61
20	Regressão da Ds do LVwf em função do índice S. (n = 60).....	62
21	Regressão da matéria orgânica do LVwf em função do índice S. (n = 60).....	62
22	Valores de Índice S e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três profundidades em Pedrinhas Paulista.....	63
23	Regressão da macroporosidade do LVef em função do índice S. (n = 60).....	64

24 Regressão da microporosiade do LVef em função do índice S. (n = 60)..... 65
25 Regressão da Ds do LVef em função do índice S. (n = 60)..... 65
26 Regressão da matéria orgânica do LVef em função do índice S. (n = 60)..... 67
27 Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo os agregados > 2mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice S, porosidade total, macroporosidade, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica saturada, matéria orgânica e alumínio, para a os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos, na camada de 0-0,10 m..... 74
28 Médias padronizadas das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0-0,10 m..... 77
29 Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada de 0-0,10 m das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15)..... 78
30 Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo os agregados > 2mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice S, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica saturada, matéria orgânica e magnésio, para a os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos na camada de 0,10-0,20 m..... 81
31 Médias padronizadas das propriedades físico-químicas dos

Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0,10-0,20 m..... 83

32 Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada d e 0,10-0,20 m das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15)..... 85

33 Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo a matéria orgânica (MO), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca cationica (CTC), satuação de bases (V%) e alumínio (Al), para a camada de 0,20-0,30 m de Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos..... 87

34 Médias padronizadas das propriedades químicas dos Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0,20-0,30 m..... 89

35 Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada de 0,20-0,30 m das propriedades químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15)..... 90

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

RESUMO – Tem crescido o interesse em se avaliar a qualidade do solo nos diferentes manejos dentro do sistema plantio direto, bem como a sua evolução, em função de um aumento de densidade do solo e de resistência mecânica à penetração e redução da macroporosidade devido às pressões provocadas pelas rodas das máquinas e pelo pisoteio animal. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo (i) analisar os efeitos de diferentes manejos na qualidade física e química de dois Latossolos Vermelhos do Estado de São Paulo, (ii) avaliar a qualidade física do solo por meio do índice S e (iii) verificar a influência da condição edafoclimática na discriminação dos diferentes manejos do solo. Para isso, foram avaliadas duas áreas cultivadas com soja na safra 2005/06, uma em Latossolo Vermelho Acriférrico típico (LVwf) de Guaíra (SP), onde foram avaliados: PD12 – SPD irrigado há 12 anos; PD5 – SPD há 5 anos; PD5I – SPD há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC – preparo convencional e MN – mata natural, e outra em Latossolo Vermelho Eutroférrico típico (LVef) de Pedrinhas Paulista (SP), onde foram avaliados: PD15 – SPD há 15 anos; PD8 – SPD há 8 anos; PD8S – SPD há 8 anos, com sucessão de culturas; PC – preparo convencional e MN – mata natural. A qualidade física dos solos foi avaliada por meio da estabilidade de agregados, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração, densidade relativa, condutividade hidráulica e índice S, e a qualidade química por meio de análises de rotina para fins de fertilidade do solo, nas camadas de 0-10,0, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Para atingir o objetivo (iii), foi utilizada a estatística multivariada, com análises de agrupamento hierárquico, não hierárquico e de componentes principais. Nos dois solos, o cultivo promoveu redução na qualidade física. No LVwf, o sistema plantio direto não contribuiu para acumular matéria orgânica e melhorar a fertilidade do solo, apresentando maiores valores de densidade, microporosidade; e porosidade total, e maiores índices de agregação do solo em comparação com o preparo convencional. No LVef, o sistema plantio direto

promoveu maior teor de matéria orgânica e agregação, menores macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica, além de maiores teores de fósforo e potássio na camada 0-0,10m, em comparação com o preparo convencional. O índice S variou em função dos sistemas de manejo nos dois solos. No LVwf foi superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física em todas as camadas do solo e no LVef, apenas na camada 0-0,10 m. Não houve diferença entre as condições edafoclimáticas na discriminação dos manejos dentro do sistema plantio direto e da mata natural, principalmente nas camadas superficiais.

Palavras-Chave: agregação do solo, compactação, índice S, qualidade física do solo, fertilidade do solo, Latossolo

PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL QUALITY UNDER DIFFERENT MANAGEMENTS AND SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS IN THE STATE OF SÃO PAULO

SUMMARY – It has grown the interest in evaluating the soil quality in the different management on no-till system, as well as its evolution, in function of an increase of soil bulk density and resistance to penetration and reduction of the macroporosity due to the pressures caused by machine wheels and the animal trampling. In this sense, the aim of this work were (i) to analyze the effect of different soil managements in the physical and chemical quality of two Oxisols from State of São Paulo, (ii) to evaluate the soil physical quality through index S and (iii) to verify the influence of soil type and climatic condition in the discrimination of the different soil managements. For this, two field areas in 2005/06 had been evaluated, one in an Anionic Acrustox (LVwf) from Guaíra, State of São Paulo, where they were evaluated: PD12 – 12 years old irrigated no-till system; PD5 – 5 years old no-till system; PD5I – 5 years old no-till system, with 2 years of crop-pasture rotation; PC – conventional till and MN – natural forest, and another one in an Eutrudox (LVef) from Pedrinhas Paulista (SP), where they were evaluated: PD15 – 15 years no-till system; PD8 – 8 years no-till system; PD8S – 8 years no-till system without crop rotation; PC – conventional till and MN – natural forest. The soil physical quality was evaluated through the stability of aggregates, soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, resistance to the penetration, relative density, hydraulic conductivity and index S, and the soil chemical quality through the data of routine analyses for the soil fertility test, in the layers of 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m. To reach the objective (iii), the multivaried statistics was used, with hierarchical clustering method, *k-means* method and principal components analysis. The results showed that in both soil types, the soil use by agriculture promoted reduction in the soil physical quality. No-till system in the LVwf did not contribute for an accumulation of organic matter, nor for the addition of soil fertility. It promoted higher values of density, microporosity; e total porosity, and presented higher indices of soil aggregation in comparison with conventional tillage. In the LVef, no-till system promoted higher organic matter and soil

aggregation, minors macroporosity, total porosity and hydraulic conductivity. Showed higher phosforus and potassium tenors in the layer 0-0.10 m, in comparison with conventional tillage. Index S showed variation in function of soil managements in both soils. In the LVwf, index S was always superior to the limit value considered for the good soil physical quality and in the LVef, only in the layer 0-0.10 m. There was no difference in the soil type and climatic conditions in the discrimination of the soil managements with no-till system and the natural forest, mainly in the superficial layers.

Keywords: soil aggregation, compaction, index S, soil physical quality, soil fertility, Oxisol

1. INTRODUÇÃO

O preparo convencional do solo, com aração e gradagem, visa principalmente o preparo da terra para a semeadura, a incorporação do calcário e a eliminação das plantas infestantes, no entanto, quando mal executada, tal operação provoca uma desestruturação da camada superficial do solo deixando-o suscetível à ação erosiva, além de ser uma das principais causas da degradação física dos solos, pois levam à oxidação da matéria orgânica, importante na estruturação e fertilidade dos solos tropicais.

No sistema plantio direto (SPD) o solo é revolvido somente na linha de semeadura, utilizando equipamentos adequados para tal processo. A manutenção da palha na superfície do solo e a utilização de rotação de culturas somam-se ao mínimo revolvimento do solo e constituem-se nas premissas básicas deste sistema. Se estas prerrogativas não são atendidas, o desenvolvimento da lavoura pode ser comprometido em algum momento, pois são essenciais à longevidade do sistema.

O revolvimento localizado do solo aliado à manutenção da palha na superfície concorre para minimizar as perdas de solo por erosão, pois o mesmo encontra-se melhor estruturado e a palha forma uma barreira contra a ação direta da gota da chuva e o arraste de solo. A formação e manutenção da palha na superfície do solo também influencia fortemente as atividade macro e mesobianas no solo, que por conseqüência promovem maior infiltração da água das chuvas, maiores quantidades de água retida pelo solo e água disponível, menores oscilações da temperatura do solo, aumento do teor de matéria orgânica e aumento da disponibilidade de nutrientes.

Surgido no Brasil, na região Sul, no início da década de 1970, o SPD revolucionou a agricultura brasileira, pela significativa redução da erosão do solo e pelas melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Porém, somente com a expansão do SPD pelos Cerrados e resultados positivos de alguns

agricultores pioneiros é que no Estado de São Paulo, reduto ainda resistente ao SPD, aumentou a área explorada com culturas nesse sistema. No Brasil, o SPD foi adotado em cerca de 25,5 milhões de hectares na safra 2005/2006 (FEBRAPDP, 2008) e no Estado de São Paulo, a utilização do SPD abrange uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares (CATI, 2008).

A utilização das técnicas e recomendações para o SPD do Sul do Brasil em regiões com condições climáticas e de sistemas de produção diferentes geraram vários insucessos e foi um dos motivos que desencorajou muitos agricultores a adotá-lo ou mantê-lo. Atualmente, graças à ação dos órgãos de ensino e pesquisa e iniciativas dos próprios agricultores, o SPD é estudado e adotado considerando as particularidades de cada região e até de cada propriedade.

As condições ideais para manejo durante a condução do sistema devem merecer especial atenção, pois é possível ocorrer aumento de densidade do solo e resistência mecânica à penetração e redução da macroporosidade devido às pressões provocadas pelas rodas das máquinas e pelo pisoteio animal, influenciadas pela umidade do solo normalmente maiores no plantio direto.

Como conseqüência, tem crescido o interesse em se avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes manejos e mais recentemente, a qualidade do solo nos diferentes manejos dentro do SPD, bem como sua evolução. Porém, quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil, pois ela depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos.

Atualmente, a busca por ações ecologicamente equilibradas tem sido uma necessidade vital para a melhoria da qualidade de vida de toda a humanidade e a filosofia do SPD é aliada importante nesta busca, pois tem sua essência no equilíbrio do ecossistema, possibilitando a auto-sustentação em termos econômicos, sociais e ambiental.

Esse trabalho procurou contribuir para ampliação do conhecimento em qualidade física e química do solo, principalmente em função de fatores que influenciam os diferentes sistemas de manejo do solo cultivado com plantas graníferas anuais. Para isso, foi testada a hipótese de que a comparação da qualidade do solo entre os

diferentes manejos dentro do SPD, o preparo convencional e a condição natural permitiria avaliar o efeito do tipo de manejo sobre a qualidade do solo. Ainda, para o índice S, a hipótese foi a que este indica maiores valores do que o considerado limite para a boa qualidade estrutural do solo. Por fim, a hipótese de que as condições edafoclimáticas influenciam os fatores envolvidos na qualidade do solo nos diferentes manejos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade do solo

Tornar uma área nativa própria à agricultura consiste em quebrar o equilíbrio de um sistema complexo, composto por macro, meso e microorganismos, responsáveis pela estrutura do solo, que por sua vez, suprirá as necessidades do sistema exploratório agrícola. O cuidado do solo, especialmente em relação à erosão, é um pré-requisito à sobrevivência das espécies vivas da terra. Daí a importância de se estudar e monitorar a qualidade do solo para mantê-lo permanentemente produtivo e sem degradação (BRADY e WEIL, 2002; COGO e LEVIEN, 2002).

Recentemente alguns autores começaram a desenvolver métodos de quantificar a qualidade do solo, definindo-a concisamente como "*o grau de aptidão do solo para um uso específico*" (DORAN et al, 1996; CARTER et al., 1997; GREGORICH, 2002). Assim, dependendo da função a qual um solo é determinado a servir, qualidade do solo pode significar coisas diferentes para diferentes pessoas (GREGORICH, 2002).

Usualmente a qualidade do solo é considerada sobre três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar os manejos sustentáveis do solo. No entanto, a qualidade física do solo merece destaque especial em novos estudos, pois acredita-se que tem grandes efeitos nos processos químicos e biológicos no solo, porém ainda apresenta-se pouco explorado nos estudos de qualidade do solo (DEXTER, 2004a).

As funções mais importantes do solo agrícola são: o suporte ao crescimento; o fornecimento de água, gases e nutrientes e a função tampão ou filtro. A essas funções estão associados vários processos, como a germinação, o crescimento radicular, armazenamento de água, aeração e a dinâmica de nutrientes (CARTER et al., 1997).

O uso de metodologias que quantifiquem e qualifiquem as condições estruturais do solo nos vários sistemas de manejo é importante na avaliação da qualidade do solo, considerada um indicador da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo (ARSHAD et al., 1996). Assim, os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes propriedades físicas relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como: densidade do solo (DE MARIA et al., 1999; STONE e SILVEIRA, 2001), porosidade do solo (SECCO et al., 2005, COSTA et al., 2006), resistência do solo à penetração das raízes (DE MARIA et al., 1999; ROSOLEM et al., 1999; IMHOFF et al., 2000; BEUTLER e CENTURION, 2004), condutividade hidráulica saturada (MESQUITA e MORAES, 2004) e agregação do solo (SILVA et al., 2000a; WENDLING et al., 2005).

2.1.1. Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo possibilita a avaliação de sua estrutura, pois é a relação entre a massa de uma amostra de terra seca e o seu volume na condição natural (sem destruir sua estrutura). Assim, quanto menor a densidade, maior a estruturação do solo. Possui uma grande amplitude de variação, principalmente devido à granulometria do solo, à profundidade e ao manejo adotado.

A porosidade total diz respeito ao volume de espaços ocupados por fluídos (gases e líquidos) no solo. A distribuição desses espaços em classes de tamanho influencia diretamente o armazenamento de água, a disponibilidade de nutrientes e o transporte da solução e do ar no solo. A quantidade de macroporos ou porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. VOMOCIL e FLOCKER (1961) consideram que valores de macroporos inferiores a 0,10 m^3 m^{-3} constituem limitação ao crescimento radicular.

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. Deste modo, verifica-se, com o tempo, maior densidade do

solo sob manejos agrícolas em relação ao encontrado em condições naturais (ARAUJO et al., 2004). Nessa modificação estrutural, a macroporosidade do solo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores (BARBER et al., 1996) .

2.1.2. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) é a relação entre a força exercida para a penetração no solo, de uma haste provida de um cone metálico numa extremidade, do qual sua área basal é constante e conhecida (BRADFORD, 1980). Esta medida tem sido freqüentemente utilizada para avaliar a qualidade física do solo por ser sensível ao manejo e ter relações diretas com o crescimento radicular (FREDDI et al., 2007) e com a produtividade das plantas (BENGOUGH et al., 2001; BEUTLER et al., 2006).

A resistência à penetração mantém relações intrínsecas com o conteúdo de água, a densidade e a composição granulométrica do solo, fatores que dificultam a obtenção de valores críticos ao desenvolvimento da cultura. O conteúdo de água na capacidade de campo tem sido aceito como padrão à determinação da resistência à penetração no campo, sendo, essencialmente, um ponto de referência para o estabelecimento de valores de resistência à penetração críticos (BENGOUGH et al., 2001).

O aumento da resistência do solo à penetração pode causar efeitos prejudiciais ao sistema radicular das culturas, devido à estreita relação entre porosidade do solo e o crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos. Como exemplo, pode-se citar o aumento do diâmetro das raízes na camada compactada (FREDDI et al., 2007) e a diminuição do diâmetro das raízes para penetrar pequenos poros, pois a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais, que são mais finas (MATERECHERA et al., 1992).

Estudando sistemas de manejo e compactação do solo, VARQUEZ et al. (1989) verificaram que a produtividade máxima de soja esteve associada à resistência à

penetração de 1,57 a 1,59 MPa (camada de 0,05 – 0,35 m), decrescendo com o aumento da resistência à penetração. SILVA et al. (2000c) verificaram em Latossolo Vermelho argiloso que a produtividade de soja foi adequada até a resistência à penetração de 1,80 MPa. QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000) e BEUTLER et al. (2006) verificaram que o valor de resistência à penetração crítico para a produtividade de soja varia com o cultivar.

2.1.3. Densidade relativa

A densidade relativa do solo (Dsr) consiste na relação entre a densidade em que se encontra o solo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor (CARTER, 1990). Vários autores têm mostrado a utilidade dessa relação na caracterização da compactação e resposta das culturas em diferentes tipos de solo (HAKANSSON, 1990; SILVA et al., 1997; BEUTLER et al., 2005).

Valores de Dsr acima de 0,86 são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e abaixo de 0,80 podem afetar a produtividade de alguns cereais em conseqüência da redução da capacidade de armazenamento de água no solo (LINDSTRON e VOORHEES, 1994). Segundo ARVIDSSON e HAKANSSON (1991), em geral, na Dsr de 0,86 são obtidas maiores produtividades, oscilando com as condições climáticas e culturas, sendo os resultados similares para os diferentes solos. HAKANSSON (1990) realizou cerca de 100 experimentos de campo com cevada, em solos com difererentes texturas e conteúdos de matéria orgânica, e verificou que a Dsr ótima esteve associada ao valor de 0,87. CARTER (1990) constatou que a produtividade máxima de trigo e cevada esteve associada a Dsr de 0,81 em solo arenoso de clima temperado.

No Brasil, em estudos de TORRES e SARAIVA (1999), em Latossolo Roxo cultivado por dois anos com soja, observou-se que, a partir da Dsr de 0,84 e 0,87, ocorreu decréscimo da produtividade. No entanto, BEUTLER et al. (2005) verificaram que a Dsr ótima para a produtividade de soja foi superior no Latossolo Vermelho eutroférrico argiloso LVef (0,84), comparado ao Latossolo Vermelho caulinítico de

textura média LVd (0,75), na tensão de água no solo de 0,01 MPa, em casa de vegetação. Essa diferença para os solos tropicais está relacionada com o fato de o solo LVef apresentar mineralogia oxídica que condiciona a formação de uma estrutura granular forte muito pequena e com maior espaço poroso (FERREIRA et al., 1999), comparado ao LVd caulinítico com estrutura maciça. Assim, a Dsr ótima à produtividade de soja foi superior no LVef, corroborando com VEEN et al. (1992), que afirmam que solos soltos e porosos apresentam menor condutividade hidráulica do solo não saturado e menor contato das raízes com o solo, influenciando negativamente a absorção de água e nutrientes.

2.1.4. Condutividade hidráulica saturada

A quantificação da infiltração de água no solo é considerada de grande utilidade na diferenciação dos efeitos de sistemas de preparo na movimentação de água no perfil.

Segundo FREIRE (1979) as variações na velocidade de infiltração estão relacionadas com atributos tais como densidade do solo, macro e microporosidade, portanto, trata-se de um processo físico de extrema complexidade, dado que o solo é um meio heterogêneo, com ampla variabilidade espacial, apresentando características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço.

O sistema plantio direto, por revolver menos o solo e apresentar um sistema permanente de bioporos e canais formado pela meso e macrofauna e por raízes que apodrecem, permite uma melhor drenagem (BOONE, 1988). ARZENO (1990) obteve valores de condutividade hidráulica do solo saturado nos sistemas plantio direto e escarificador, cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional em Latossolo Vermelho distroférrico. WU et al. (1992), comparando diferentes sistemas de manejo do solo, avaliando a infiltração de água no solo através de um Permeâmetro de Guelph, observaram que no sistema plantio direto os poros conduzem água mais eficientemente do que no preparo convencional. Assim, mesmo apresentando menor

porosidade total, o sistema plantio direto pode apresentar condutividade hidráulica igual ou superior à do preparo convencional.

2.1.5. Matéria orgânica e Agregação do solo

Na condição de mata natural, os processos de ciclagem do carbono (C) têm como determinantes primários os fatores de formação do solo, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (STEVENSON, 1994). Nos sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

A adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo através do contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção de uma boa estrutura. O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados (CAMPOS et al., 1995). CASTRO FILHO et al. (1998), estudando um Latossolo Roxo de Londrina, no Paraná, concluíram que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície como conseqüência da adoção do sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação graças ao incremento do teor de carbono orgânico, sobretudo na camada de 0-0,10 m; independentemente da sucessão de culturas. Os valores de diâmetro médio geométrico dos agregados foram significativamente superiores em relação aos do plantio convencional. Resultados semelhantes foram obtidos por SÁ et al., 2001.

CARPENEDO e MIELNICZUK (1990), estudando a estabilidade estrutural dos agregados em condições de mata e campo nativo, verificaram que houve redução da agregação quando os solos foram submetidos à lavração e à gradagem para o cultivo de trigo e soja. Segundo DA ROS et al. (1997), após cinco anos de cultivo, o diâmetro médio geométrico dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo, diminuindo com o aumento da intensidade de preparo

do solo, com valores de 2,96 vezes menores no preparo convencional comparado ao campo nativo. CAMPOS et al. (1995) constataram que no sistema de plantio direto o diâmetro médio geométrico dos agregados foi cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional.

2.1.6. Curva de retenção de água e Índice S

Vários atributos têm sido utilizados para avaliar a qualidade física do solo, no entanto, a caracterização dos efeitos dos sistemas de manejo sobre a degradação e qualidade física do solo é mais bem quantificada por medidas que integram diferentes propriedades num reduzido número de parâmetros (ARAÚJO et al., 2004). Assim, DEXTER (2004c) considera que a curva de retenção de água (CRA) tem potencial para ser utilizada como indicadora da qualidade física do solo em sistemas de uso e manejo que alterem mais drasticamente a distribuição de poros por tamanho, ou mesmo entre tipos de solos.

A curva de retenção de água do solo representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida, sendo de essencial importância nos estudos físico-hídrico do solo. Sua determinação é efetuada por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (RICHARDS, 1965) e da centrífuga (SILVA e AZEVEDO, 2002) e baseia-se no levantamento de certo número de pontos com os quais é traçada uma curva para representar as características de retenção da água do solo.

O índice “S” introduzido no Brasil por SILVA (2004) a partir dos trabalhos de DEXTER (2004 a,b,c), calculado a partir da curva de retenção de água, também apresenta importante contribuição para os estudos da qualidade do solo, principalmente pelo grande potencial para ser usado em avaliações da interação entre o manejo e a física do solo e ser facilmente medido.

Um índice quantitativo de qualidade do solo pode servir como indicador da capacidade do mesmo para a produção sustentável de plantas e de animais de forma economicamente viável, socialmente aceitável e ambientalmente amigável. E somente

entendendo e promovendo a qualidade do solo hoje, é que é possível garantir às gerações futuras a proteção ambiental no grau requerido e a utilização dos solos em uma forma proveitosa (COGO et al., 2004).

2.1.7. Fertilidade do solo

Para que sejam estáveis e continuamente produtivos, os sistemas de manejo devem, além de manter as condições físicas do solo em condições favoráveis ao crescimento das plantas, adicionar nutrientes conforme suas necessidades, além de um controle efetivo da erosão. As diferentes operações de preparo do solo podem alterar a fertilidade do solo pois alteram a distribuição e a disponibilidade dos nutrientes no perfil.

Na implantação do SPD, além das correções de impedimentos físicos ao crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas, deve-se proceder à adequada correção da acidez e elevação dos teores de nutrientes ao nível de suficiência, pelo menos na camada 0-0,20m. A não observação dessas práticas pode acarretar em acúmulo de nutrientes predominantemente na camada superficial, até a profundidade de deposição dos insumos, criando um gradiente de concentração que pode se tornar uma barreira química ao desenvolvimento radicular, devido à presença de alumínio tóxico e baixos teores de elementos essenciais abaixo da camada de deposição dos insumos (MARTINAZZO, 2006). Em geral, solos cultivados sob SPD que apresentam essas características provocam um crescimento radicular superficial, logo abaixo da camada de palha, porém sem mostrar restrições ao desenvolvimento e produtividade das culturas em condições de boa disponibilidade de água (SILVA et al., 2000b). Entretanto, em cultivos de sequeiro sob condições climáticas desfavoráveis, o crescimento superficial das raízes pode levar a problemas na produtividade e possíveis desequilíbrios de nutrientes.

A condução do SPD, por minimizar o revolvimento do solo, tende a proporcionar um acúmulo de material orgânico e de nutrientes na superfície (DE MARIA e CASTRO, 1993; SÁ, 1993). No entanto, este acúmulo parece depender do tipo de solo, clima e quantidade de palha produzida pelas culturas (CASTRO, 1995) e da mobilidade

intrínseca de cada elemento no solo (ALMEIDA et al., 2005). Em solos tropicais, em função da predominância da baixa CTC e de boa drenagem, CENTURION et al. (1985) não observaram o acúmulo de bases trocáveis nas camadas superficiais de um Latossolo Vermelho cultivado sob plantio direto em Selvíria-MS.

A ocorrência de maiores teores de fósforo e potássio nas camadas superiores do solo no sistema plantio direto é relatada por diversos autores (DE MARIA et al., 1999; ALMEIDA et al., 2005). Porém PAULETTI et al. (2005), em um Latossolo Vermelho Distrófico de Ponta Grossa-PR, não encontraram diferença para os teores de fósforo e potássio na comparação entre sistema plantio direto e preparo convencional.

2.2. Sistema plantio direto em diferentes ambientes de produção

A importância e reconhecimento do sistema plantio direto como agricultura sustentável pode ser explicada pela sua evolução. No Brasil, no ano agrícola 1972/1973 eram 200 mil hectares, principalmente na região sul, pioneira no país, e em 2005/2006, eram 25,5 milhões de hectares, distribuídos nas principais regiões agrícolas (FEBRAPDP, 2008).

O impacto imediato de um sistema conservacionista como o plantio direto é a redução do arraste de terra e de elementos químicos pela erosão (CASTRO et al., 1986), mas outros aspectos relacionados são importantes para se alcançar níveis mais altos de produtividade com menor degradação do solo e da água. Neste sistema, a infiltração da água das chuvas é maior, a quantidade de água retida pelo solo e a água disponível são maiores, e as oscilações da temperatura do solo são menores (CASTRO et al., 1987). Esses fatores, aliados ao aumento do teor de matéria orgânica e ao aumento da disponibilidade de nutrientes (DE MARIA e CASTRO, 1993), colocam o plantio direto como um sistema produtivo com baixo impacto ambiental.

Manejos conservacionistas de solo, quando comparados ao preparo convencional, apresentam características físicas e químicas distintas através do seu perfil. Operações de preparo de solo podem alterar-lhe as propriedades físicas nas frações mobilizadas e adjacências, tais como densidade do solo, porosidade e

resistência do solo à penetração. Isto pode afetar a distribuição e a morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea (KLEPKER e ANGHINONI, 1995).

As mobilizações intensivas do solo, no sistema convencional, sob condições inadequadas de umidade e de cobertura vegetal, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando basicamente as relações entre as fases: sólida, líquida e gasosa (DENARDIN e KOCHHANN, 1997). No entanto, o sistema plantio direto de culturas anuais caracteriza-se pela deposição da semente no solo, sem o prévio revolvimento utilizado no sistema convencional, utilizando máquinas especializadas, que mobilizam apenas o sulco de semeadura, pela manutenção da palha da cultura anterior e pela rotação de culturas.

Como conseqüência da pequena mobilização do solo no sistema plantio direto, teores mais elevados de nutrientes nas camadas superficiais, principalmente o fósforo, têm sido determinados por diversos autores (CENTURION et al., 1985; ELTZ et al., 1989; DE MARIA e CASTRO, 1993; CASTRO, 1995), no entanto, este acúmulo pode levar a um desenvolvimento excessivo de radicelas nesta camada, prejudicando a planta, se não houver um crescimento em profundidade, num período de seca prolongada (CASTRO, 1995).

Ainda no sistema plantio direto, há uma tendência a encontrar maior densidade do solo nas camadas superficiais, porém, para ARSHAD et al. (1996) este fato não chega a comprometer o sistema, devido à maior continuidade de poros, homogeneidade do solo e à maior atividade microbiana.

Na literatura, existem inúmeros relatos dos níveis de compactação do solo cultivado sob o sistema plantio direto. Contudo, ainda existem dúvidas sobre qual o estado de compactação do solo, sob sistema plantio direto, que influi negativamente na produção das culturas e quais os limites críticos das propriedades físico-mecânicas que limitam o pleno desenvolvimento das plantas (SECCO et al., 2004).

Para contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo, os sistemas de preparo do solo devem oferecer condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima e das culturas envolvidas, os sistemas de preparo podem promover a degradação da qualidade física

do solo, com reflexos ambientais e na produtividade das culturas (TORMENA, et al., 2004).

Vários trabalhos têm demonstrado que os sistemas produtivos que adotam o plantio direto, que evita a mobilização do solo, utiliza a rotação de culturas e mantém uma cobertura de palha sobre o mesmo, estão menos vulneráveis à degradação ou, ao contrário, podem levar a recuperação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, com o decorrer de vários ciclos produtivos.

O contínuo fornecimento de material orgânico no sistema plantio direto serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados do solo (CAMPOS et al., 1995), no entanto, as condições climáticas, representadas principalmente pelo regime hídrico de chuvas e pela temperatura, influem na atividade microbiana e conseqüentemente na decomposição desse material orgânico (GILMOUR et al., 1998). Assim, em regiões com características climáticas distintas, a contribuição da matéria orgânica como agente estabilizador de agregados e melhorador do solo pode ocorrer em diferentes intensidades.

Nesse sentido, o sistema plantio direto vem sendo utilizado com êxito há algum tempo na região sul do Brasil, em função, principalmente, das condições edafoclimáticas que favorecem a sua aplicação. Sob as condições climáticas predominantes no Cerrado, tem sido difícil a formação e principalmente a manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo. Isto, aliado a intensa movimentação de máquinas e implementos, pode favorecer o surgimento de problemas decorrentes do uso continuado do sistema de plantio direto, como o readensamento do solo e a salinização devido à constante deposição dos fertilizantes minerais na superfície.

No Estado de São Paulo, esta técnica até recentemente tinha despertado pouco interesse, principalmente aos agricultores da região Norte e Nordeste do Estado. Porém percebe-se que devido ao impulso ocorrido no Centro-Oeste e a consolidação da segunda safra nos sistemas de produção, a conscientização vem acontecendo acentuadamente, aumentando o interesse pela adoção do sistema.

Em áreas irrigadas também é grande a preocupação com a degradação física, pois ao procurar otimizar o uso dos solos e dos equipamentos de irrigação, na maioria

das vezes não são observadas as condições adequadas de umidade para a operação das máquinas no campo (FREITAS, 1992). Além disso, há uma carência de informações quanto à capacidade de suporte de carga desses solos que possam ser usadas como subsídio na tomada de decisão sobre a realização ou não de uma determinada operação mecanizada.

Outro sistema de produção que merece especial atenção quanto à qualidade do solo são os considerados mistos, como o caso de sistema de integração lavoura-pecuária, pois seu impacto sobre os atributos físicos e químicos são ainda incipientes.

O sistema de cultivo com rotação ou sucessão também altera as propriedades físicas do solo. Em Latossolos Vermelho-Escuros, CAMPOS et al. (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade dos agregados, enquanto ALBUQUERQUE et al. (1995) observaram maior volume de macroporos e menor densidade do solo, nos sistemas de rotações de culturas comparados às sucessões.

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER e YOUNGS, 1992). De acordo com SANCHEZ (1981), avaliações das modificações no solo decorrentes do cultivo deveriam ser feitas, submetendo um solo sob vegetação natural às explorações agrícolas desejadas e analisando suas propriedades periodicamente. No entanto, por diferentes razões, é difícil atender a essas condições experimentais. Alternativamente, estes estudos podem ser feitos utilizando solos cultivados e sob mata nativa, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos. No Brasil, têm sido feitos alguns estudos avaliando as mudanças nas propriedades dos solos utilizando o solo sob mata como referência (BORGES et al., 1999; ARAÚJO et al., 2004; CENTURION et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Áreas Experimentais

Foram utilizadas duas áreas experimentais, uma no município de Guaíra e outra no município de Pedrinhas Paulista, ambas no Estado de São Paulo.

3.1.1. Caracterização das regiões

O município de Guaíra localiza-se na região norte do Estado de São Paulo, na divisa com o Estado de Minas Gerais, distante 470 km da capital. O estabelecimento de culturas como a soja, milho, feijão e tomate, o plantio e industrialização da cana-de-açúcar, além de atividades pastoris, são as principais fontes de renda do município, tornando-o um dos principais produtores de grãos do Estado de São Paulo. Por aliar uma topografia suave, de colinas amplas, a boas condições de fertilidade do solo, proveniente da alteração de derrames basálticos jurocretáceos da Formação Serra Geral, Guaíra se destacou como importante pólo de irrigação. De acordo com SAAD (1987), o município é constituído em sua grande maioria (90%) por solos da unidade pedológica Latossolo Roxo, hoje classificada como Latossolos Vermelhos textura argilosa eutroférrico ou distroférrico (EMBRAPA, 2006).

O município de Guaíra, na região paulista da Alta Mogiana, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima tropical com estação seca de inverno (Aw) (ROLIM et al., 2007), com temperatura média anual de 24^{o}C e 1300 mm de precipitação, distribuídos entre outubro e abril. A figura 1 representa a precipitação e temperatura média durante o período de desenvolvimento da cultura da soja em Guaíra na safra 2005/2006.

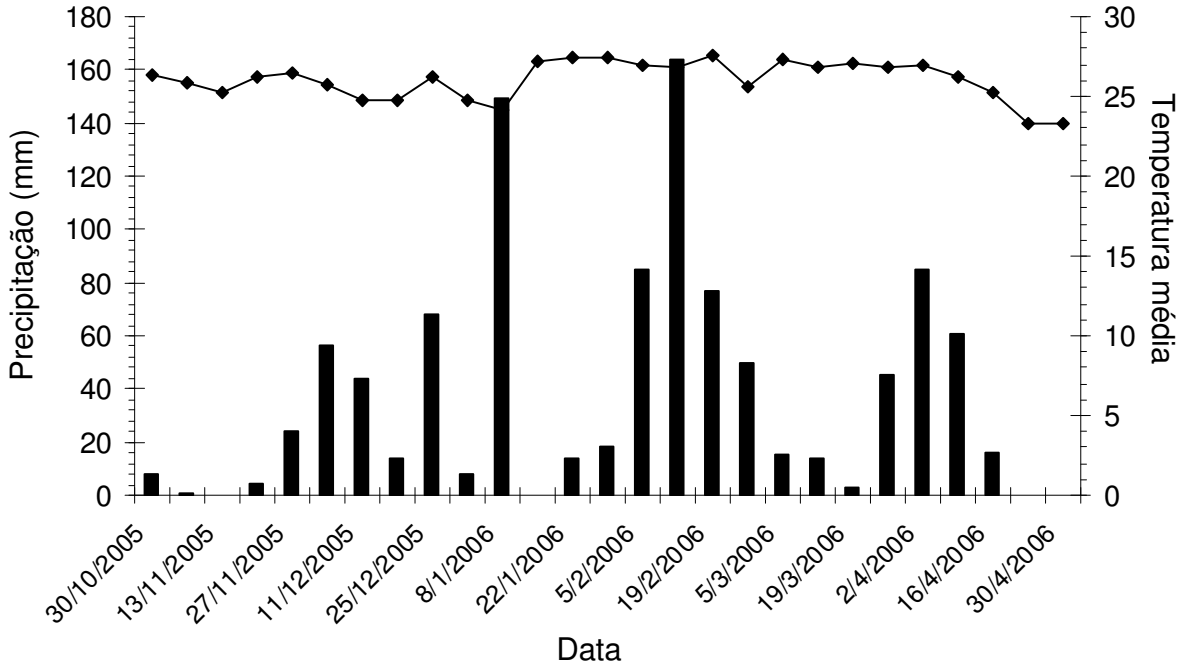

Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura da soja em Guaíra. Fonte: CIIAGRO (2006).

O município de Pedrinhas Paulista fica inserido na região do Médio Vale do Rio Paranapanema, ao Sudoeste do Estado de São Paulo, divisa com o Estado do Paraná, onde a exploração agrícola desenvolveu-se inicialmente sobre os Latossolos Roxos (hoje denominados Latossolos Vermelhos textura argilosa eutroférricos ou distroférricos) com a sucessão soja/trigo. A partir de 1990 o trigo foi substituído pelo milho safrinha, predominando a sucessão soja (verão) e milho “safrinha” (outono-inverno). No início do cultivo do milho safrinha, o principal sistema regional de manejo de solo era a semeadura na palha no outono-inverno e o preparo convencional com escarificações e/ou gradagens no verão. O sistema plantio direto passou de 28% em 1998 para 42% em 2000. Em 2004, estimava-se que o sistema plantio direto permanente era empregado em 66 % dos 130.000 ha de culturas anuais, predominando a semeadura na palha no outono-inverno no restante da área (DE MARIA et al., 2004).

O clima do município de Pedrinhas Paulista, situado na região paulista do Médio Vale do Rio Paranapanema, segundo a classificação de Köppen é uma transição climática entre inverno seco e úmido (Cwa/Cfa) (ROLIM et al., 2007). A temperatura e a precipitação média anual são, respectivamente, 21,8^{o}C e 1360 mm. A Figura 2 mostra a precipitação e a temperatura média durante o desenvolvimento da cultura da soja na safa 2005/2006.

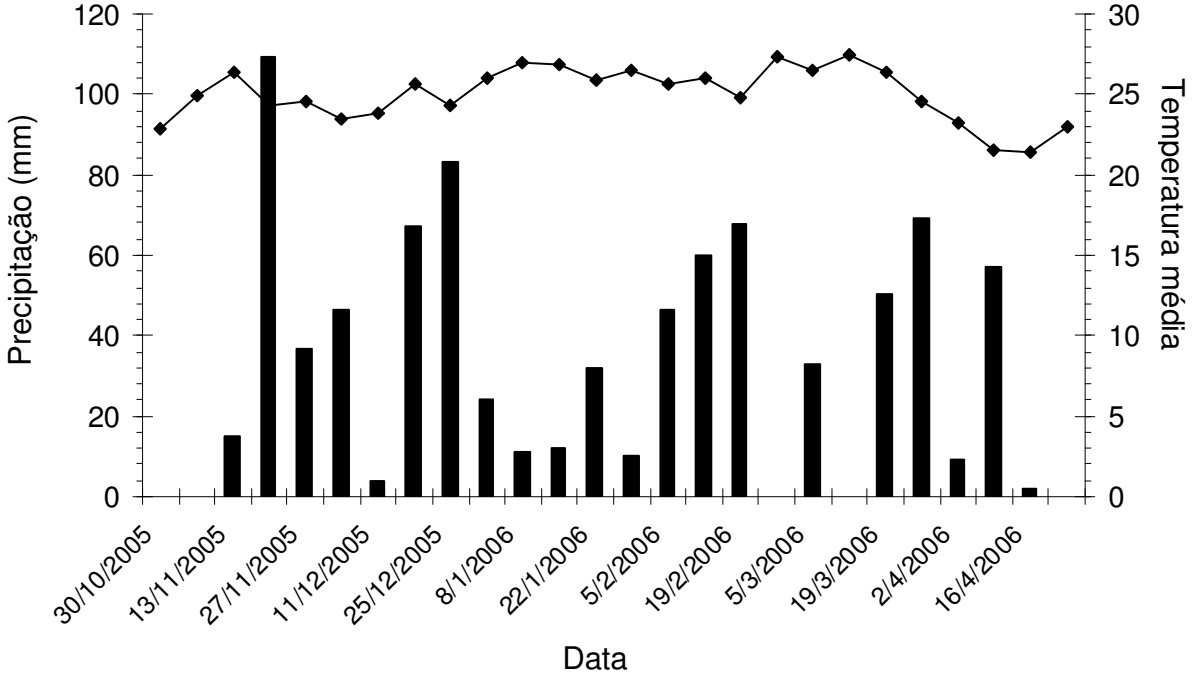

Figura 2. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura da soja em Pedrinhas Paulista. Fonte: CIIAGRO (2006).

3.1.2. Solos

Os solos das áreas foram identificados com base nos levantamentos pedológicos semi-detalhados do Estado de São Paulo e amostragem física e química do solo *in loco*.

O solo das áreas cultivadas e de mata avaliadas em Guaíra apresentaram teor médio de argila de 75%, enquadrando-se na classe dos solos muito argilosos. Os

resultados das análises químicas e granulométricas revelaram que o solo das áreas avaliadas atendeu ao caráter ácrico, com capacidade de troca catiônica efetiva menor que 15 $mmol_c\ kg^{-1}$ de argila e pH (KCl 1 mol L^{-1}) igual ou superior a 5,0; ou ΔpH (pH KCl – pH H_2O) positivo ou nulo e apresentou teor de Fe_2O_3 médio de 280 g kg^{-1}, sendo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico (LVwf), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). ALLEONI e CAMARGO (1994) citam os solos ácricos como resultantes de intenso processo de intemperismo e devido a isso, são normalmente profundos, variando de argilosos a muito argilosos, sendo bastante friáveis e com fraco desenvolvimento de macroestrutura no horizonte B. A diferenciação entre horizontes é pouco nítida, sendo difícil separá-los sem que haja alguma arbitrariedade na demarcação dos limites. Os autores ainda relatam que os solos ácricos por possuírem menor repulsão entre as cargas elétricas dos colóides, apresentam microagregação máxima, favorecida pela floculação e cimentação da argila, que dá ao solo a sensação de areia. Trata-se de um tipo de solo representativo, já que em levantamento pedológico semi-detalhado da região de Guaíra feito pelo Instituto Agronômico de Campinas, foram contabilizados 95.000 hectares de solos ácricos (OLIVEIRA e PRADO, 1994).

Em Pedrinhas Paulista as áreas avaliadas revelaram alta saturação por bases e teor de Fe_2O_3 médio de 240 g kg^{-1}, podendo classificá-lo como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico (LVef), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Todas as áreas apresentam mais de 60% de argila (Tabela 1), enquadrando-se na classe dos solos muito argilosos.

3.2. Descrição dos tratamentos

As determinações relativas a este estudo foram realizadas na safra 2005/2006, em quatro manejos ou sistemas de produção diferentes, em cada região, todos com a cultura da soja, em parcelas de 10 m x 35 m, além da avaliação na mata nativa, tomada como situação de solo sem interferência.

Em Guaíra, no LVwf, as áreas onde o trabalho foi conduzido eram contíguas e pertencentes à Fazenda Barracão, de propriedade do Sr. Fernando de Oliveira Carvalho e à Fazenda São João, de propriedade do Sr. Rafael Takahashi, com coordenadas geográficas aproximadas de 20º 21' S de latitude e 48º 14' W de longitude. Nelas foram avaliados os seguintes sistemas:

1 – Plantio direto irrigado de 12 anos – PD12;

2 – Plantio direto sequeiro de 5 anos – PD5;

3 – Plantio direto sequeiro de 5 anos, com 2 anos de integração com pecuária – PD5I;

4 – Preparo convencional há mais de 20 anos – PC;

5 – Mata natural.

A área com o sistema PD12 apresenta sistema de irrigação por pivô central e utiliza a rotação de milho com a soja no verão a cada três anos. No outono-inverno, rotacionam o milho safrinha, o sorgo e o feijão. A soja CD 208 (Coodetec) foi semeada dia 04 de novembro de 2005 e a adubação de semeadura foi de 200 kg ha^{-1} da formulação NPK 02-20-15 + micronutrientes.

O sistema PD5 tem o milho substituindo a soja no verão a cada três anos e o milho safrinha ou o sorgo no outono-inverno. A semeadura da soja CD 208 (Coodetec) foi realizada no dia 20 de novembro de 2005, com adubação de 225 kg ha^{-1} da formulação NPK 02-20-25 + micronutrientes.

A área no sistema PD5I iniciou o sistema plantio direto juntamente com a área no sistema PD5, diferindo na incorporação da integração com a pecuária, utilizando o Sistema Santa Fé, originado no estado de Goiás (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Neste sistema, a braquiária para a formação de pasto é semeada juntamente com a operação de adubação de cobertura do milho. A planta de milho se desenvolve primeiro, ficando a braquiária com seu crescimento prejudicado, devido ao sombreamento. Com a maturação e secamento do milho, a braquiária então continua seu desenvolvimento, ganhando tempo e condições favoráveis para a formação do pasto. O período de pastejo foi de 10 de junho a 10 de outubro. A soja foi semeada diretamente sob a palhada da braquiária no dia 3 de dezembro de 2005, utilizando a cultivar MG/BR 46 –

Conquista e adubação de 225 kg ha^{-1} da formulação NPK 02-20-18 + micronutrientes. Aos 30 dias após a emergência foi feita uma adubação potássica de cobertura, à lanço, na dose de 50 kg ha^{-1} de KCl.

Nas áreas dos sistemas PD12 e PD5, foram efetuadas duas aplicações de herbicidas e três aplicações de fungicidas e na área do sistema PD5I, duas aplicações de herbicidas e quatro de fungicidas. Estas três áreas foram semeadas com a mesma semeadora-adubadora, marca Tatu/Marchesan, modelo PST 3, configurada com disco de corte de palha, haste sulcadora para a deposição de adubo, discos desencontrados para a deposição de semente e espaçamento entre linhas de 0,50 m e receberam adubação foliar com Co+Mo aos 30 dias após a emergência das plântulas.

No sistema PC o solo tem sido preparado utilizando uma gradagem pesada e duas passadas de grade niveladora, há mais de vinte anos. Na safra avaliada, o agricultor optou pela não utilização da gradagem pesada, efetuando apenas uma passada de grade niveladora para posterior semeadura. A soja MG/BR 48 (Garimpo RCH) foi semeada no dia 15 de novembro de 2005, utilizando 350 kg ha^{-1} da formulação 03-15-15. Foram feitas 4 aplicações de fungicidas e 3 aplicações de inseticidas. A semeadora-adubadora utilizada foi uma Tatu, configurada com discos para deposição de adubo e semente e com espaçamento entre linhas de 0,53 m.

Em Pedrinhas Paulista, no LVef, o experimento foi conduzido em áreas pertencentes ao Sítio Generoso, de propriedade do Sr. André Vicentini; Sítio São Donato, de propriedade do Sr. Antônio Di Loreto e Sítio São Luiz, cujo proprietário é o Sr. Luigi Tovo. As coordenadas geográficas aproximadas são 22º 49' S de latitude e 50º 46' W de longitude. As áreas eram contíguas e apresentavam os seguintes sistemas:

1 – Plantio direto de 15 anos – PD15;

2 – Plantio direto de 8 anos – PD8;

3 – Plantio direto de 8 anos com sucessão de culturas – PD8S;

4 – Preparo convencional há mais de 20 anos – PC;

5 – Mata natural.

As áreas com os sistemas PD15 e PD8 apresentam o mesmo sistema de cultivo, diferindo apenas na idade de adoção. Desde 1994, a fazenda adota, nas áreas de plantio direto, um cultivo de milho verão a cada dois cultivos de soja e sempre antecedendo o cultivo do milho, no outono-inverno, o cultivo de adubação verde, denominada pelo agricultor de "coquetel". Os outros cultivos de outono-inverno são preenchidos pela cultura do milho safrinha, com posterior semeadura de milheto, visando à formação de palha no sistema (Tabela 1).

No "coquetel" de plantas de cobertura são semeadas 4 espécies vegetais conjuntamente: girassol, tremoço, aveia e nabo forrageiro, com 10, 90, 90 e 20 kg ha^{-1} de sementes, respectivamente. O manejo das plantas varia conforme o ano e pode ser feito com o auxílio de um rolo-faca, quando as espécies ainda estão verdes ou então com a utilização de herbicidas dessecantes.

Tabela 1. Rotação de culturas adotada no sistema das áreas PD15 e PD8 em Pedrinhas Paulista

2002/03	2003	2003/2004	2004	2004/2005	2005	2005/2006
Soja	Milho/milheto	Soja	Coquetel	Milho	Milho/Milheto	Soja

A semeadura da soja nas áreas PD15 e PD8 ocorreu nos dias 3 e 4 de novembro de 2005, utilizando sementes da cultivar CD 201 (Coodetec), que previamente receberam tratamento de fungicida e micronutrientes. A adubação de semeadura foi igual a 250 kg ha^{-1} da formulação NPK 0-20-20. Foram feitas três aplicações de inseticidas, uma de fungicida para controle da ferrugem asiática e duas pulverizações para o controle das plantas infestantes.

Na área PD15, a soja foi semeada com semeadora-adubadora marca Semeato, modelo SSM 23 e na área PD8 com semeaora-adubadora marca Baldan, modelo 4500, ambas configuradas com disco de corte de palha, haste sulcadora para a deposição de adubo, disco duplo desencontrado para a deposição de sementes e espaçamento entre linhas de 0,45 m. A semeadura da soja foi feita acompanhando as linhas de milho do cultivo anterior.

Na área com o sistema PD8S, desde 1998 o agricultor adota a semeadura sem o preparo total do solo, utilizando a sucessão de cultivo de soja no verão e de milho no outono-inverno (Tabela 2).

Tabela 2. Sucessão de culturas adotada no sistema da área PD8S em Pedrinhas Paulista

2002/03	2003	2003/2004	2004	2004/2005	2005	2005/2006
Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja

A semeadura da soja ocorreu no dia 10 de novembro de 2005, utilizando sementes da cultivar CD 202 (Coodetec), e 225 kg ha^{-1} da formulação NPK 02-20-18.

O sistema de preparo convencional é adotado há mais de 20 anos, empregando uma gradagem pesada, uma subsolagem e duas passadas de grade niveladora. Nos últimos 10 anos, foi utilizado a sucessão da soja no verão e milho safrinha no outono-inverno. A semeadura da soja ocorreu dia 4 de novembro de 2005, utilizando sementes CD 208 (Coodetec) previamente tratadas com fungicida e adubação com 250 kg ha^{-1} da formulação NPK 0-20-20. Foram feitas três aplicações de inseticidas, uma aplicação de fungicida para a prevenção da ferrugem asiática e uma aplicação de herbicida pré-emergente.

A semeadora-adubadora utilizada na área com o sistema PC, marca Semeato, estava configurada com discos, tanto para a deposição de adubo, quanto para a deposição da semente.

3.3. Determinações

3.3.1. Avaliação da estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração.

As coletas de amostras de solo foram realizadas em dezembro de 2005, nas entrelinhas da cultura da soja, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, em 4 repetições, com auxílio de um enxadão, sem destruição dos torrões, que foram acondicionados em sacos plásticos e, posteriormente, secados ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram desmanchados manualmente, tomando-se cuidado para não destruir os agregados. Para avaliar a estabilidade de agregados via úmida, foram usados 50 g de solo que passou pela peneira de 7,93 mm e ficou retido na peneira de 4,00 mm, os quais foram pré-umedecidos, conforme o princípio de umedecimento lento descrito por KEMPER e CHEPIL (1965). Em seguida, essa amostra foi colocada no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm de diâmetro de malha, conforme descrito por YODER (1936). Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 ºC por um período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas foram calculados a porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (Agreg), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme KEMPER e CHEPIL (1965). Para verificar se os valores de DMP dos tratamentos com solo cultivado (PD12, PD5, PD5I e PC) foram diferentes daqueles da MN, calculou-se o índice de sensibilidade (IS) sugerido por BOLINDER et al. (1999) e utilizado por BERTOL et al. (2004), que utiliza o princípio da comparação relativa entre tratamentos. O valor do referido índice maior do que a unidade (um) significa que a estabilidade dos agregados aumentou e, quando menor, diminuiu.

A condutividade hidráulica saturada foi medida no campo, em duas profundidades, a 0,08 e a 0,15 m e empregando-se duas cargas hidráulicas 0,03 e 0,06 m, em dezembro de 2005, com 4 repetições, utilizando um permeâmetro tipo Guelph, composto de uma garrafa de Mariotte que controla a carga constante de água dentro do furo, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é introduzida e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares. Após algum tempo, que dependerá, dentre outros fatores, da umidade antecedente do solo e da sua textura, uma pequena área em torno do furo estará saturada e, então, o fluxo torna-se constante.

A resistência do solo a penetração (RP) foi determinada na entrelinha da cultura da soja, utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, desenvolvido por STOLF et al. (1983), até 0,40 m de profundidade, em 6 repetições por tratamento. Cada repetição foi formada pela média de 6 avaliações. Concomitantemente à determinação de RP foi avaliada a umidade do solo pelo método gravimétrico, em seis pontos selecionados aleatoriamente ao longo da linha de amostragem de RP, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Os dados de resistência à penetração foram submetidos à análise de covariância, sendo corrigidos em função da umidade.

3.3.2. Avaliação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade relativa.

Para a determinação das propriedades físicas do solo, foram coletadas amostras com estrutura indeformada em quatro pontos aleatórios para cada sistema de manejo, utilizando cilindros de $52{,}35 \times 10^{-6}$ m^3, no centro das camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Após a retirada dos cilindros, estes foram limpos por fora, tampados e vedados com gaze e elástico e levados ao laboratório. Foram determinadas a densidade do solo (BLAKE e HARTGE, 1986), a microporosidade, por secagem (tensão de 0,006 MPa) em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), a porosidade total segundo DANIELSON e SUTHERLAND (1986), e a macroporosidade obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A densidade de referência do solo foi determinada em amostras deformadas coletadas na camada de 0-0,20 m e passadas em peneira de 4,0 mm. Para tal, foi utilizado o teste Proctor normal com reuso de material (NOGUEIRA, 1998). A determinação da densidade máxima (de referência) consistiu da adição de um pouco de água à amostra, homogeneização, adição de solo até 1/3 do cilindro de 10 cm por 12,73 cm (1000 cm^3) que foi submetido a 26 golpes de um soquete de 2,5 kg caindo à altura de 30,5 cm, equivalente a uma pressão de 200 kPa. Em seguida, adicionou-se mais uma camada até atingir 2/3 e depois outra até atingir a superfície do cilindro,

procedendo da mesma forma para compactação. Nos pontos seguintes, adicionou-se mais água até que se verificou ter a densidade do solo diminuído, sendo obtida a Ds máxima. Objetivou-se obter o ponto de máxima Ds e pelo menos dois pontos acima e dois abaixo, para um melhor ajuste do modelo.

3.3.3. Determinação das curvas de retenção de água no solo e do índice S.

As amostras indeformadas retiradas das camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m foram colocadas em uma bandeja e saturadas durante 24 horas. Após este período, deixou-as escoar o excesso de água para posterior pesagem. Em seguida as amostras foram submetidas às tensões de 0,006; 0,01; 0,033; 0,06, 0,1 e 0,3 MPa, em câmaras de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), sendo determinado o conteúdo de água retida em cada tensão.

Após pesagem na última tensão, retirou-se a gaze e o elástico para pesagem e composição da tara total para os cálculos de umidade. As amostras de solo foram secas em estufa a 105ºC até atingir peso seco constante, o qual foi utilizado nos cálculos de densidade do solo e da umidade nos diferentes pontos da curva característica. As curvas de retenção de água ou características foram ajustadas pelo modelo proposto por GENUCHTEN (1980).

No cálculo do índice S foi utilizado os parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por GENUCHTEN (1980).

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

onde: n e m são parâmetros que governam o formato da curva; θ_{sat} e θ_{res} são a umidade na saturação e residual, respectivamente.

No cálculo do S o foco principal está na inclinação da curva de retenção da água do solo no ponto de inflexão. Isto pode ser medido diretamente através da curva retenção, entretanto, é mais conveniente ajustar a curva de retenção a uma função

matemática e então calcular a inclinação no seu ponto de inflexão (Equação 1) em termos dos parâmetros obtidos na equação de GENUCHTEN (1980). A análise das curvas de retenção de água na literatura sugerem que a degradação física do solo sempre conduz a uma mudança no formato das curvas. Uma pequena inclinação indica um solo desestruturado e, portanto, uma elevada inclinação um solo estruturado e que possui muitos poros (DEXTER, 2004a).

3.3.4. Análise granulométrica e da fertilidade dos solos

Na mesma ocasião em que se coletaram as amostras indeformadas com anéis volumétricos, fez-se a coleta de amostras deformadas com trado tipo holandês para análise granulométrica e de fertilidade do solo.

A composição granulométrica dos solos foi determinada em amostras coletadas na camada de 0-0,30 m, através da dispersão com NaOH (0,1 mol L^{-1}) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986).

Em cada sistema avaliado foram retiradas seis amostras compostas, provenientes de 10 amostras simples, nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, para fins de análise química do solo, segundo metodologia descrita por RAIJ et al. (1987).

3.3.5. Avaliações na cultura da soja

No florescimento pleno da cultura da soja, foram coletadas amostras de folhas para a diagnose nutricional e avaliadas segundo BATAGLIA et al. (1983).

No estádio R8, foram coletadas 10 plantas seguidas em uma das linhas de cada parcela, que foram levadas ao laboratório para as avaliações de: altura de planta, medindo-se a distância entre o colo e o ápice da haste principal; altura de inserção da primeira vagem, medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da primeira

vagem; e número de vagens por planta, destacando-se e contando-se todas as vagens viáveis de cada planta.

A população de plantas foi avaliada por ocasião da colheita, contando-se o número de plantas em 3 linhas de 1 metro de comprimento cada, calculando-se o valor médio por hectare. Para a avaliação da produtividade da soja, foram colhidas as plantas em 3 linhas com 3 m de comprimento, em 6 repetições por tratamento. Estas plantas, após secagem ao sol, foram trilhadas mecanicamente, os grãos pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% de umidade em base úmida). A umidade foi determinada através do método da estufa (105 $\pm$ 3 ºC por 24 h.).

3.4. Análise dos dados

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro Wilk e Levene ambos a 5% de probabilidade, para verificação da normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Todas as variáveis do trabalho apresentaram distribuição normal dos resíduos e homocedasticidade não havendo a necessidade de transformação dos dados, com excessão apenas da condutividade hidráulica saturada, que foi transformada em Log x.

A análise de variância seguiu o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas 5 x 3 (cinco manejos e três camadas), para os dois experimentos. Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em quatro contrastes ortogonais entre si, dentro de cada camada, para isolar os efeitos do cultivo do solo, sistema plantio direto, tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação e integração lavoura-pecuária em Guaíra (Tabela 3) e os efeitos do cultivo do solo, do sistema plantio direto, do tempo de adoção do sistema plantio direto e o efeito da utilização da rotação de culturas em Pedrinhas Paulista (Tabela 4). Utilizou-se o teste de Tukey ($p<0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento. As análises foram feitas com auxílio do software estatístico SAS (SAS, 1999).

As classificações dos solos das áreas deste estudo diferem quanto ao grande grupo, logo, com o intuito de se obter uma melhor compreensão da dinâmica dos fatores que influenciam a qualidade dos solos agrícolas, diante da grande quantidade

de informações coletadas em campo, procurou-se identificar diferenças entre os sistemas de produção e a mata natural, quanto aos atributos físicos e químicos dos solos, por meio de análise multivariada.

Tabela 3. Nomes, coeficientes e efeitos dos contrastes entre os tratamentos em Guaíra

Nome	Tratamentos[1]					Efeito
	PD12	PD5	PD5I	PC	MN	
C1	1	1	1	1	-4	Cultivo
C2	1	1	1	-3	0	Plantio direto
C3	1	-1	0	0	0	Tempo/Irrigação
C4	0	1	-1	0	0	Integração

[1] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PDI: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração com pecuária; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa;

Tabela 4. Nomes, coeficientes e efeitos dos contrastes entre os tratamentos em Pedrinhas Paulista

Nome	Tratamentos[1]					Efeito
	PD15	PD8	PD8S	PC	MN	
C1	1	1	1	1	-4	Cultivo
C2	1	1	1	-3	0	Plantio direto
C3	1	-1	0	0	0	Tempo de SPD
C4	0	1	-1	0	0	Rotação

[1] PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa.

A análise estatística multivariada surgiu como uma importante ferramenta para permitir a extração de uma quantidade maior de informação que dificilmente seria gerada empregando métodos univariados (BEEBE et al., 1998). Para a estatística univariada, no caso restrito de variáveis independentes, é possível com segurança, interpretar fenômenos usando medidas de tendência central como média, moda, etc. e dispersão dos dados. Na estatística multivariada o fenômeno depende de muitas variáveis, com isso não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua

totalidade, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (GROBE, 2005).

BATISTA (1990) afirma que, quando se trata de estudos de vários parâmetros observados, ou medidos sobre um mesmo indivíduo ou unidade amostral, se pode recorrer aos métodos de análises multivariadas com o intuito de melhor explicar a estrutura da massa de dados, sendo o método da análise de agrupamento um dos mais utilizados.

Para a análise multivariada, foram utilizados os dados constantes na Tabela 5.

Tabela 5. Variáveis físicas e químicas do solo utilizadas na análise multivariada

Nº	Variável física	Sigla	Nº	Variável química	Sigla
1	% de agregados > 2 mm	Agreg	10	Matéria orgânica	MO
2	Diâmetro médio geométrico	DMG	11	Fósforo	P
3	Diâmetro médio ponderado	DMP	12	Potencial hidrogeniônico	pH
4	Densidade do solo	Ds	13	Cálcio	Ca
5	Macroporosidade	Macro	14	Magnésio	Mg
6	Microporosidade	Micro	15	Potássio	P
7	Índice S	--	16	Acidez potencial	H+Al
8	Condutividade hidráulica	Kfs	17	Soma de bases	SB
9	Resistência à penetração	RP	18	Capacidade de troca catiônica	CTC
			19	Saturação por bases	V%
			20	Alumínio	Al

Foram considerados como acessos, todos os tratamentos avaliados neste trabalho, no LVwf (PD12, PD5, PD5I, PC e MN) e no LVef (PD15, PD8, PD8S, PC e MN). Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis onde cada uma ficou com média 0 e variância 1.

A análise de agrupamentos hierárquica (SNEATH e SOKAL, 1973) foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto das 20 variáveis, e utilizando o algorítmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos.

A identificação dos acessos nos grupos também foi feita pelo *k-means* (HAIR, 2005) que pertence à classe dos métodos de agrupamentos não hierárquicos e não supervisionados. Este método minimiza a variância dos acessos dentro de cada grupo.

A análise de componentes principais permite condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis (p=20, neste estudo) em duas variáveis latentes ortogonais denominadas de componentes principais que são combinações lineares das variáveis originais criados com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR, 2005). Desta forma, o conjunto inicial contendo 20 variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos componentes principais que possuem autovalores superiores à unidade (KAISER, 1958) e fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável. Autovalores inferiores à unidade não possuem informação relevante.

Todas as análises estatísticas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise granulométrica dos solos

A análise granulométrica foi realizada com a finalidade de caracterizar os solos dos locais de execução dos trabalhos (Tabela 6), e não de verificar a existência de possíveis efeitos dos diferentes manejos ou sistemas de preparo na distribuição de partículas primárias do solo.

Tabela 6. Conteúdo médio na camada de 0-0,30 m, de areia grossa, areia fina, silte e argila dos Latossolos de Guaíra e Pedrinhas Paulista

Solo[(1)]	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	---------- g kg^{-1} ----------			
LVwf	47	137	61	755
LVef	69	109	162	660

[(1)] LVwf: Latossolo Vermelho acriférrico típico; LVef: Latossolo Vermelho eutroférrico típico.

4.2. Estabilidade de agregados e matéria orgânica

A ação antrópica no Latossolo Vermelho Acriférrico típico (LVwf) proporcionou redução dos índices de agregação em todas as camadas avaliadas, comprovando a perda de estabilidade dos agregados devido ao uso agrícola, em relação à mata nativa (Tabela 7). A maior agregação no sistema mata nativa (MN) é resultante do acúmulo de matéria orgânica (MO) ao longo dos anos, confirmado pelo contraste C1 da Figura 3, em virtude da não ação antrópica por mais de 40 anos, influenciando fortemente a agregação do solo.

Tabela 7. Porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (Agreg), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de sensibilidade (IS) e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVwf[1]

Tratamento[2]	Índices de agregação			
	Agreg (%)	DMG (mm)	DMP (mm)	IS
		Camada de 0 -0,10 m		
PD12	95,73 a	5,08 a	5,44 a	0,93 a
PD5	92,27 a	4,84 a	5,41 a	0,93 a
PD5I	92,24 a	4,73 a	5,28 a	0,91 a
PC	70,44 b	2,75 b	3,96 b	0,68 b
MN	99,04 a	5,75 a	5,85 a	1,00 a
Contrastes[3]		P>F[4]		
C1	-11,37**	-1,40**	-0,83**	-0,14**
C2	22,97**	0,80**	1,41**	0,24**
C3	3,46*	0,24^{ns}	0,03^{ns}	0^{ns}
C4	0,03^{ns}	0,11^{ns}	0,13^{ns}	0,02^{ns}
		Camada de 0,10-0,20 m		
PD12	94,81 a	5,12 a	5,51 a	0,95 a
PD5	89,34 a	4,43 a	5,16 a	0,90 a
PD5I	88,56 a	4,23 a	5,00 a	0,88 a
PC	79,37 a	3,52 a	4,61 a	0,81 a
MN	98,91 a	5,67 a	5,79 a	1,00 a
Contrastes		P>F		
C1	-10,89**	-1,35**	-0,72**	-0,12**
C2	11,53**	1,07**	0,61**	0,10**
C3	5,47**	0,69**	0,35**	0,05*
C4	0,78^{ns}	0,20^{ns}	0,16^{ns}	0,02^{ns}
		Camada de 0,20-0,30 m		
PD12	97,46 a	5,36 a	5,61 a	0,96 a
PD5	90,39 a	4,64 a	5,26 a	0,90 a
PD5I	89,59 a	4,29 a	5,02 a	0,85 a
PC	66,46 b	2,51 b	3,75 b	0,64 b
MN	99,15 a	5,75 a	5,84 a	1,00 a
Contrastes		P>F		
C1	-13,18**	-1,55**	-0,93**	-0,16**
C2	26,02**	2,25**	-0,54**	0,26**
C3	7,07**	0,72**	0,35*	0,06*
C4	0,80^{ns}	0,35^{ns}	0,24^{ns}	0,05^{ns}

[1] Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PDI: plantio direto a 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD12 + PD5 + PD5I + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PD5I) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs. -(PD5I)]. [4] ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

O mesmo comportamento na agregação do solo se manifestou quando o contraste C2 comparou o sistema plantio direto (SPD) e o preparo convencional (PC), mostrando o efeito positivo do SPD. No entanto, o teor de MO encontrado na área de preparo convencional na camada 0-0,10 foi maior do que nas áreas de plantio direto. Era de se esperar menores valores de MO na área com preparo convencional do solo, principalmente em função da aceleração da decomposição causada pela incorporação dos restos culturais por ocasião do preparo do solo com arações e gradagens (ALBUQUERQUE et al., 2005), no entanto, o preparo do solo que antecedeu a coleta no LVwf foi efetuada apenas com uma gradagem leve e superficial, com posterior semeadura. Possivelmente, a pequena mobilização do solo e os resíduos da cultura anterior influenciaram na avaliação da MO. No entanto, essa MO não contribuiu para aumentar a estabilidade dos agregados.

O acúmulo de MO em áreas sob sistema plantio direto, principalmente na camada superficial do solo, devido à preservação dos restos vegetais na superfície, já que o solo não é totalmente revolvido, foi relatado nos trabalhos de SILVA et al. (2000a) e de TORMENA et al. (2004), ambos em Latossolo Vermelho do Paraná. No entanto deve-se considerar que este aumento também depende de fatores como o clima, temperatura, precipitação, textura e mineralogia do solo.

O efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação (Contrate C3) apresentou, na camada de 0-0,10 m, maior porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm (Agreg), na camada de 0,10-0,20 m, efeito positivo em todos os índices de agregação e na camada 0,20-0,30 m, aumento na Agreg, DMG e DMP. A prática da irrigação favorece o desenvolvimento das plantas, que produzirão mais massa seca e consequentemente mais matéria orgânica será adicionada ao solo. No entanto, apenas na camada 0,10-0,20 m houve incremento no teor de MO (Figura 3), indicando que possivelmente outros fatores inerentes aos sistemas ou solos podem estar atuando na agregação. Não houve efeito da utilização da integração com pecuária (Contraste C4) nos índices de agregação e nos teores de MO. Era de se esperar que este contraste fosse significativo, pois alguns trabalhos mostram que sistemas de rotação de culturas sob SPD envolvendo espécies com sistema radicular agressivo como o da braquiária e com diferentes quantidades de fitomassa, podem alterar as propriedades físicas do solo

(ALBUQUERQUE et al., 2001). Provavelmente o curto tempo de adoção do sistema não permitiu a expressão das características positivas. A comparação dos atributos avaliados nas diferentes camadas mostrou redução dos índices de agregação no PC nas camadas 0-0,10 e 0,20-0,30 m, em comparação com a camada de 0,10-0,20 m. Provavelmente a camada 0,10-0,20 m apresentou efeito do implemento de preparo do solo, que causa compressão das partículas do solo, formando torrões, sem, entretanto, ocorrerem os mecanismos de formação e estabilização destes, que não apresentam qualidades positivas de um agregado (SILVA et al., 2000c).

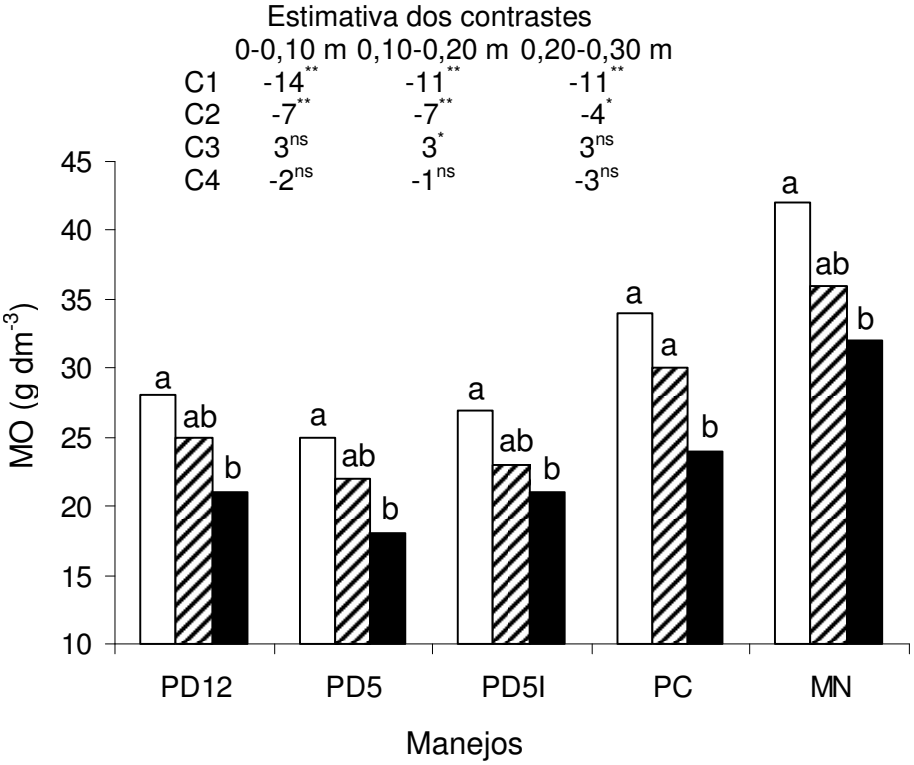

Figura 3. Teores de matéria orgânica (MO) e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três camadas no LVwf. Camada de 0-0,10 m (□); 0,10-0,20 m (▨); 0,20-0,30m (■); PD12: plantio direto irrigado há 12 anos; PD5: plantio direto há 5 anos; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: preparo convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; C1: [(PD12 + PD5 + PD5I + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PD5I) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs -(PD5I)]; ^{ns}: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada manejo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

No LVef, o efeito do cultivo do solo na agregação pode ter sido influenciado principalmente pelo teor de MO, verificado pelo Contraste C1 (Tabela 8 e Figura 4). Na camada superficial, não houve diferença dos índices de agregação do solo cultivado em comparação com a mata natural, podendo-se atribuir tal fato à contribuição do incremento de MO nas áreas com sistema plantio direto (Contraste C2). Nas demais camadas avaliadas, o teor de MO na área de mata natural foi superior às áreas cultivadas. Estes resultados concordam com OLIVEIRA et al. (2004) que, em um Latossolo Vermelho distrófico típico do Distrito Federal encontraram teor de carbono orgânico nos primeiros 10 cm da superfície do solo sob plantio direto há 20 anos igual ao da condição de mata (Cerrado).

O aumento de matéria orgânica na superfície do solo no plantio direto se deve ao fato do revolvimento do solo nesse sistema se dar somente na linha de semeadura, enquanto no PC toda a camada de solo ser revolvida nas operações de preparo, incorporando os resíduos vegetais e acelerando sua decomposição (ALBUQUERQUE et al., 2005). WENDLING et al. (2005), que estudaram a estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho de Minas Gerais, sob diferentes manejos, concluíram que é na camada superficial onde ocorre a maior contribuição da matéria orgânica.

O efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto na estabilidade de agregados (Contraste C3) não foi observado na camada superficial, mas sim nas camadas mais profundas. Neste caso, a agregação do solo não está associada à MO, já que não houve incremento no teor em função da idade de adoção do sistema. Este resultado ainda sugere que outros fatores relacionados aos sistemas ou ao solo podem estar atuando na agregação.

Não houve efeito da rotação de culturas (Contraste 4) na agregação do solo e somente na camada mais profunda houve um incremento no teor de MO.

Dentro de cada tratamento, a MN apresentou homogeneidade do teor de MO no perfil do solo. O tratamento PD8 mostrou maior teor de MO em superfície. No PD15 a camada mais profunda apresentou menor valor de MO. Nas áreas PD8S e PC o teor de MO decresceu gradativamente em profundidade.

Tabela 8. Porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água (Agreg), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de sensibilidade (IS) e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVef [1]

Tratamento[2]	Índices de agregação			
	Agreg (%)	DMG (mm)	DMP (mm)	IS
		Camada 0-0,10 m		
PD15	91,92 a	4,91 a	5,39 a	0,98 a
PD8	95,92 a	5,33 a	5,62 a	1,03 a
PD8S	91,17 a	4,76 a	5,30 a	0,97 a
PC	81,87 a	3,79 a	4,75 a	0,87 a
MN	94,54 a	5,03 a	5,48 a	1,00 a
Contrastes[3]		P>F[4]		
C1	-4,32^{ns}	-0,33^{ns}	-0,22^{ns}	-0,04^{ns}
C2	11,13**	1,21**	0,69**	0,12**
C3	4,00^{ns}	-0,42^{ns}	-0,23^{ns}	-0,05^{ns}
C4	4,75^{ns}	0,57^{ns}	0,32^{ns}	0,06^{ns}
		Camada 0,10-0,20 m		
PD15	81,40 a	3,79 a	4,61 a	0,81 b
PD8	92,57 a	4,95 a	5,39 a	0,95 a
PD8S	90,68 a	4,71 a	5,27 a	0,92 a
PC	87,63 a	4,36 a	5,03 a	0,88 a
MN	97,24 a	5,45 a	5,70 a	1,00 a
Contrastes		P>F		
C1	-9,17**	-1,00**	-0,63**	-0,11**
C2	0,59^{ns}	0,12^{ns}	0,06^{ns}	0,01^{ns}
C3	-11,17**	-1,16**	-0,78**	-0,14*
C4	1,89^{ns}	0,24^{ns}	0,12^{ns}	0,03^{ns}
		Camada 0,20-0,30 m		
PD15	82,56 a	3,90 a	4,71 a	0,85 ab
PD8	94,35 a	5,12 a	5,48 a	1,00 a
PD8S	87,76 a	4,39 a	5,04 a	0,91 a
PC	86,53 a	4,24 a	4,95 a	0,90 a
MN	95,75 a	5,13 a	5,51 a	1,00 a
Contrastes		P>F		
C1	-7,95*	-0,72*	-0,47*	-0,09*
C2	1,69^{ns}	0,23^{ns}	0,13^{ns}	0,02^{ns}
C3	-11,79**	-1,22**	-0,77**	-0,15**
C4	6,59^{ns}	0,73^{ns}	0,44^{ns}	0,09^{ns}

[1] Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]. [4] ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

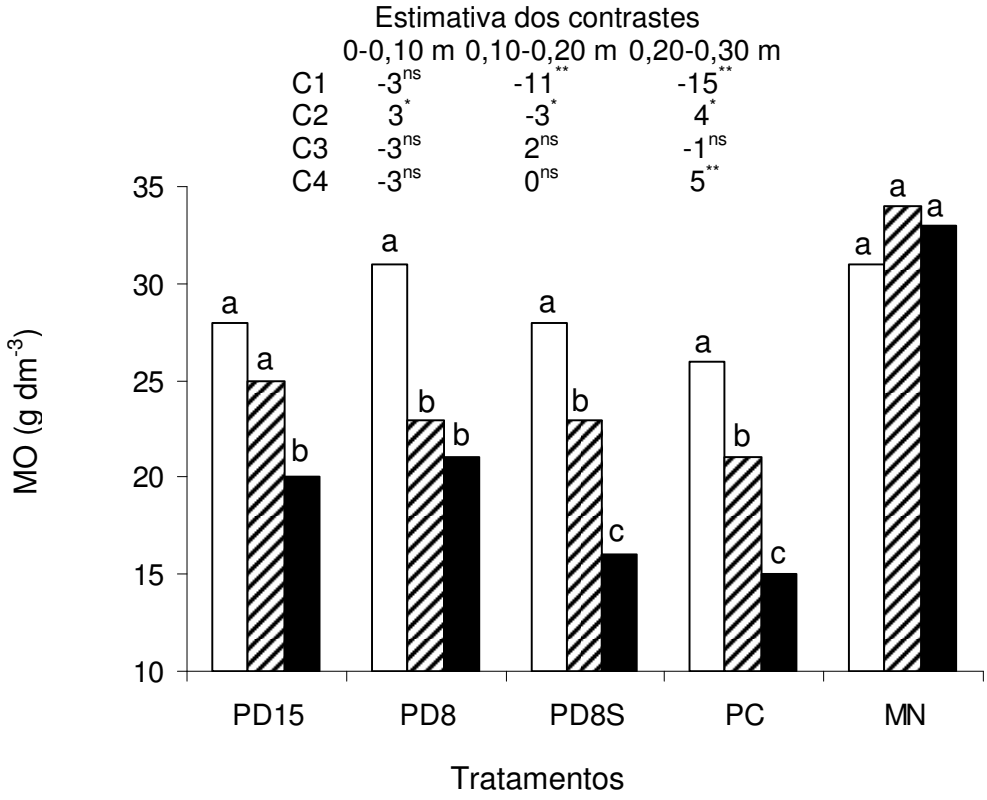

Figura 4. Teores de matéria orgânica (MO) e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três camadas no LVef. Camada de 0-0,10 m (□); 0,10-0,20 m (▨); 0,20-0,30m (■); PD15: plantio direto há 15 anos; PD8: plantio direto há 8 anos; PD8S plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]; ^{ns}: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada manejo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

4.3. Condutividade hidráulica

Tanto no LVwf, quanto no LVef, o contraste C1 mostrou que o cultivo do solo diminuiu sua condutividade hidráulica em relação à sua condição natural (Tabelas 9 e 10, Figuras 5 e 6). Esse resultado confirma a perda da estruturação do solo de mata em função da utilização da agricultura. Essa redução significativa do fluxo de água nos solos cultivados pode ser conseqüência da diminuição da macroporosidade (Tabela 12). Resultado semelhante foi obtido por GÓES et al. (2005) em um Latossolo Vermelho eutroférrico argiloso de Jaboticabal (SP).

Tabela 9. Condutividade hidráulica saturada do solo e teste F para os contrastes estabelecidos no LVwf[(1)]

Tratamento[(2)]	Condutividade hidráulica[(1)]	
	0,08 m	0,15 m
	----- mm h^{-1} -----	
PD12	4,38 a	1,72 b
PD5	3,78 a	2,57 b
PD5I	3,63 a	2,30 b
PC	5,12 a	3,11 b
MN	6,51 a	5,87 a
Contrastes[(3)]	P>F[(4)]	
C1	-2,28**	-3,45**
C2	-1,19**	0,91**
C3	0,60**	-0,85**
C4	0,15ns	0,27ns

[(1)] Dados transformados em ln(Ch); Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [(2)] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração com pecuária; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [(3)] C1: [(PD12 + PD5 + PD5I + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PD5I) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs -(PD5I)]. [(4)] ns: não significativo e **: significativo a 1% de probabilidade.

As áreas de SPD nos dois solos estudados também apresentaram menores valores de condutividade hidráulica quando contrastado com as áreas de PC. Era de se esperar que, devido à continuidade de poros, à tortuosidade dos interstícios e à maior atividade biológica que facilita a movimentação tridimensional da água, resultados superiores do SPD em relação ao PC, conforme verificado por ARZENO (1990) e ASSIS e LANÇAS (2005), em estudo com permeâmetro de Guelph, ambos em Nitossolo Vermelho. No entanto, contribuem para o maior fluxo de água, o excessivo revolvimento do solo no PC e a tendência de adensamento do solo no SPD, já que em ambas situações podem ocorrer modificações na densidade, na porosidade total, na macro e microporosidade do solo, que estão diretamente ligadas à distribuição dos poros e, por conseqüência, a permeabilidade dos solos (MESQUITA e MORAES, 2004).

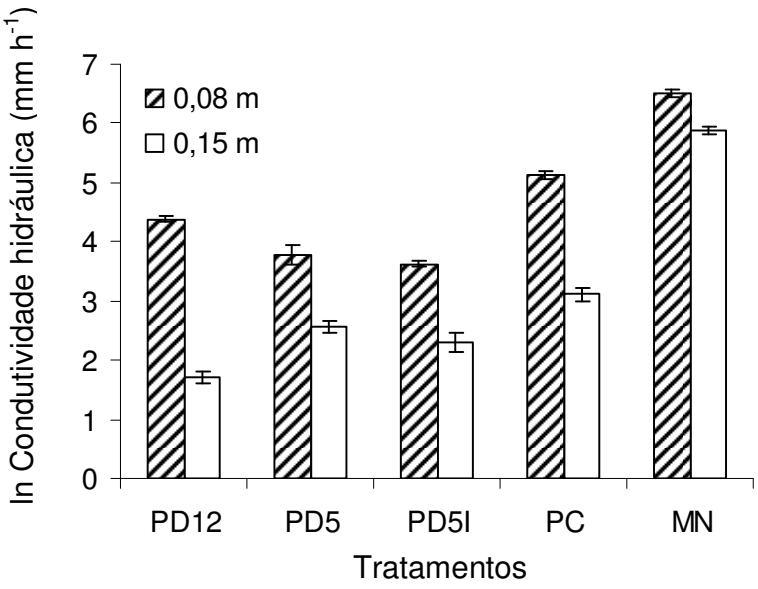

Figura 5. Condutividade hidráulica do LVwf nas duas profundidades, em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

O resultado do contraste C3 no LVwf permitiu inferir que o tempo de adoção do SPD/irrigação proporcionou maior condutividade hidráulica na profundidade 0,08 m e

menor na profundidade 0,15 m. De modo geral, os maiores valores de condutividade hidráulica são encontrados juntamente com os maiores valores de macroporosidade (MESQUITA e MORAES, 2004). Apesar da macroporosidade não ter sido influenciada pelo tempo de adoção do SPD/irrigação (Tabela 11), esse resultado na profundidade 0,15 m, possivelmente está relacionado com os baixos valores de macroporosidade encontrados (PD12 = 0,068 e PD5 = 0,076 m^3 m^{-3}).

Tabela 10. Condutividade hidráulica saturada e teste F para os contrastes estabelecidos no LVef[1]

Tratamento[2]	Condutividade hidráulica[1]	
	0,08 m	0,15 m
	mm h^{-1}	
PD15	5,05 a	1,55 b
PD8	5,49 a	2,28 b
PD8S	5,44 a	2,09 b
PC	5,63 a	4,37 b
MN	7,11 a	5,83 b
Contrastes[3]	P>F[4]	
C1	-1,71**	-3,26**
C2	-0,30**	-2,40**
C3	-0,44**	-0,73**
C4	0,05ns	0,19ns

[1] Dados transformados em ln(Ch); Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]. [4] ns: não significativo e **: significativo a 1% de probabilidade.

No LVef, o contraste C3 mostra que o incremento no tempo de adoção do sistema plantio direto diminuiu a condutividade hidráulica. O tratamento PD15 apresentou maior microporosidade na camada 0-0,10 m, confirmando assim, que as modificações estruturais ocasionadas pelo manejo, em função de práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais também modificam a condutividade hidráulica (MESQUITA e MORAES, 2004).

Não houve efeito da utilização da integração lavoura-pecuária no LVwf e nem efeito da rotação de culturas no LVef (Contrastes C4) na condutividade hidráulica, e tal resposta pode ser explicada devido às poucas variações na condição estrutural do solo nos dois tratamentos e solos.

Na comparação entre profundidades, dentro de cada tratamento, aqueles estudados no LVef, apresentou maiores valores de condutividade hidráulica na profundidade 0,08 m. No LVwf a resposta foi a mesma, com exceção da área de MN, que apresentou homogeneidade do fluxo de água no perfil do solo.

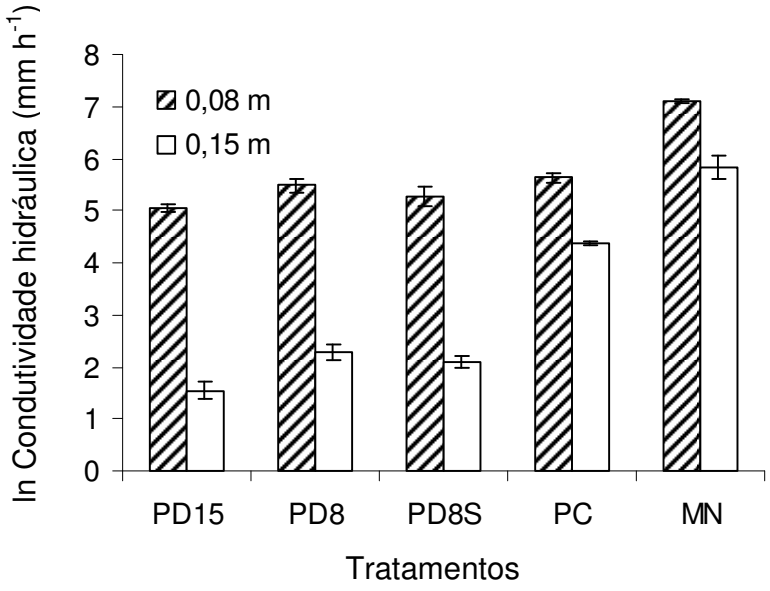

Figura 6. Condutividade hidráulica do LVef nas duas profundidades, em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

4.4. Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Em todas as camadas do Latossolo Vermelho acriférrico típico de Guaíra (LVwf), o contraste C1 mostrou que a maior densidade do solo ocorreu nas áreas cultivadas,

em comparação com a área de mata natural (Tabela 11). Os maiores valores de macroporos e porosidade total e menores valores de microporos foram conferidos à área de mata natural, na mesma comparação. Esta situação é comum, já que a ação antrópica está relacionada com a compactação do solo pelo uso de máquinas e implementos (CAVENAGE et al., 1999), com a redução dos teores de matéria orgânica (SILVA e KAY, 1997) e menor estabilidade estrutural do solo (HORN et al., 1995).

O sistema plantio direto proporcionou maiores valores de densidade quando contrastado com a área convencional (Contraste C2). Na camada de 0,20-0,30 m, as áreas com o sistema plantio direto mostraram-se com maior densidade do solo, maior volume de porosidade total e maior microporosidade, em relação à área com preparo convencional (Contraste C2).

Essa resposta normalmente é encontrada em estudos deste tipo, e vários autores citam que no sistema plantio direto o revolvimento do solo é restrito à linha de semeadura e, no entanto, o tráfego de máquinas ocorre normalmente em toda extensão da área, resultando num aumento da compactação do solo, principalmente em superfície (ASSIS e LANÇAS, 2005).

O sistema plantio direto também proporcionou maiores valores de microporosidade e porosidade total. A macroporosidade foi maior na área de plantio convencional, o que pode ser atribuído ao vigoroso revolvimento do solo por ocasião do preparo.

O contraste C3 comparou as áreas com sistema plantio direto de 12 anos irrigado e 5 anos, e somente a macroporosidade apresentou diferença significativa, destacando-se o PD5, que apresentou maiores valores e indicou possível tendência de adensamento do solo no tempo.

Tabela 11. Densidade do solo (Ds), porosidade total, macroporosidade e microporosidade e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVwf[1]

Tratamento[2]	Propriedade			
	Densidade	Porosidade	Macroporosidade	Microporosidade
	Mg m^{-3}	---------- m^3 m^{-3} ----------		
		Camada de 0 -0,10 m		
PD12	1,14 a	0,575 a	0,087 a	0,488 a
PD5	1,17 a	0,592 a	0,120 a	0,472 a
PD5I	1,12 a	0,590 a	0,092 a	0,498 a
PC	0,92 b	0,561 a	0,168 a	0,393 b
MN	0,78 a	0,637 a	0,301 a	0,336 a
Contrastes[3]		P>F[4]		
C1	$0,31^{**}$	$-0,058^{**}$	$-0,184^{**}$	$0,127^{**}$
C2	$0,22^{**}$	$0,025^{*}$	$-0,068^{**}$	$0,093^{**}$
C3	$-0,03^{ns}$	$-0,017^{ns}$	$-0,033^{*}$	$0,016^{ns}$
C4	$0,05^{ns}$	$0,002^{ns}$	$0,028^{ns}$	$-0,026^{ns}$
		Camada de 0,10-0,20 m		
PD12	1,26 a	0,564 a	0,068 a	0,496 a
PD5	1,24 a	0,561 a	0,076 a	0,485 a
PD5I	1,15 a	0,611 a	0,117 a	0,494 a
PC	1,18 a	0,535 a	0,082 b	0,453 a
MN	0,81 a	0,602 a	0,260 a	0,342 a
Contrastes		P>F		
C1	$0,40^{**}$	$-0,034^{**}$	$-0,174^{**}$	$0,140^{**}$
C2	$0,04^{ns}$	$0,044^{**}$	$0,005^{ns}$	$0,039^{**}$
C3	$0,02^{ns}$	$0,003^{ns}$	$-0,008^{ns}$	$0,011^{ns}$
C4	$0,09^{ns}$	$-0,050^{**}$	$-0,041^{**}$	$0,009^{ns}$
		Camada de 0,20-0,30 m		
PD12	1,25 a	0,565 a	0,091 a	0,474 a
PD5	1,20 a	0,565 a	0,104 a	0,461 a
PD5I	1,15 a	0,590a	0,092 a	0,498 a
PC	1,12 a	0,544 a	0,085 b	0,459 a
MN	0,79 a	0,619 a	0,285 a	0,334 a
Contrastes		P>F		
C1	$0,39^{**}$	$-0,053^{**}$	$-0,192^{**}$	$0,139^{**}$
C2	$0,08^{**}$	$0,029^{**}$	$0,011^{ns}$	$0,019^{*}$
C3	$0,05^{ns}$	0^{ns}	$-0,013^{ns}$	$0,013^{ns}$
C4	$0,05^{ns}$	$-0,025^{ns}$	$0,012^{ns}$	$-0,037^{*}$

[1] Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD12: plantio direto a 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto a 5 anos, sequeiro; PDI: plantio direto a 5 anos, com integração com pecuária a 2 anos; PC: plantio convencional a mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD12 + PD5 + PD5I + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PD5I) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs. -(PD5I)]. [4] ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

O efeito da utilização da integração lavoura–pecuária, verificada pelo contraste C4, mostrou que não houve diferença significativa para as variáveis analisadas. Esperava-se que a utilização da braquiária no sistema de produção alterasse as características físicas do solo, principalmente devido aos benefícios gerados pelo sistema radicular da mesma (ALBUQUERQUE et al., 2001). No entanto, devido à recente introdução deste sistema na área, os resultados benéficos podem ainda não ter se expressado. Na camada de 0,10 a 0,20 m, o sistema plantio direto quando contrastado com o sistema convencional (Contraste C2), apresentou maior porosidade total e maior microporosidade.

Entre as áreas com o sistema plantio direto de 12 e 8 anos, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m não houve diferença significativa para as variáveis analisadas, não indicando tendência de adensamento ao longo do tempo.

O contraste C4, indicou que a introdução da integração lavoura–pecuária quando comparada com a área de mesma idade de adoção do sistema plantio direto, porém sem integração, acarretou maiores valores de macroporosidade e de porosidade total, mostrando o efeito benéfico da utilização de espécies com vigoroso sistema radicular na estruturação do solo e conformação do espaço poroso. O emprego da integração lavoura-pecuária proporcionou maior valor de microporosidade, devido possivelmente a uma compactação oriunda da utilização sucessiva de equipamento de revolvimento do solo na mesma profundidade, antes da adoção do sistema.

Entre as camadas, as diferenças significativas somente ocorreram na área com plantio convencional. Na camada superficial, a densidade do solo foi inferior, o volume de macroporos foi superior e o volume de microporos foi inferior, refletindo a ação do equipamento utilizado no revolvimento e preparo do solo, fracionando os agregados, com conseqüente criação de poros.

Em todas as áreas avaliadas os volumes de macroporos ficaram aquém do considerado ideal por TAYLOR e ASCHROFT (1972), de cerca de 0,33 m^3 m^{-3}. Esse problema foi mais grave nas áreas no sistema plantio direto, com média (0,09 m^3 m^{-3}) e na área com preparo convencional, com valor de 0,08 m^3 m^{-3}. Estes dados indicam possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, desenvolvimento das raízes das culturas nas camadas desses

tratamentos, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que 0,10 m^3 m^{-3} (XU et al., 1992).

No Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef) de Pedrinhas Paulista, o contraste C1 mostrou que as áreas cultivadas apresentaram maior densidade do solo, menor porosidade total, menor macroporosidade e maior microporosidade, em todas as camadas avaliadas (Tabela 12).

Esta resposta demonstra que o uso do solo para fins agrícolas, independente do sistema de manejo utilizado, promove alterações nas suas propriedades físicas. Resultados semelhantes, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por SILVA e RIBEIRO (1992). BORGES et al. (1999) citam que a drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo.

Na camada superficial, o sistema plantio direto proporcionou maior densidade do solo e microporosidade, menor porosidade total e macroporosidade, quando comparadas com a área com preparo convencional. Esses resultados estão em conformidade com os de TORMENA et al. (2002), em um Latossolo Vermelho distrófico de Araruna (PR). Além dos efeitos da mobilização no solo no plantio convencional, estes resultados refletem um estado de compactação causada pelas operações agrícolas e ou adensamento nas áreas com sistema plantio direto.

A área com sistema plantio direto de 8 anos (PD8) apresentou menores valores de microporos, em comparação com a área de 12 anos (PD12) (Contraste C3). Isto indica melhoria na conformação dos poros no tempo, devido principalmente à adoção da rotação de culturas, confirmada pelo contraste C4, também significativo.

Na camada de 0,10-0,20 m, a área com plantio convencional apresentou maior volume de macroporos, quando comparadas com a área com plantio convencional (contraste C2), evidenciando o efeito desagregante das partículas no preparo do solo.

Tabela 12. Densidade do solo (Ds), porosidade total, macroporosidade e microporosidade e teste F para os contrastes estabelecidos para cada camada no LVef[1]

Tratamento[2]	Propriedade			
	Densidade	Porosidade	Macroporosidade	Microporosidade
	Mg m^{-3}		---------- m^3 m^{-3} ----------	
		Camada de 0-0,10 m		
PD15	1,22 a	0,562 a	0,085 a	0,477 a
PD8	1,24 a	0,541 a	0,131 a	0,410 a
PD8S	1,31 a	0,506 a	0,105 a	0,401 a
PC	1,08 b	0,588 a	0,247 a	0,341 b
MN	0,78 a	0,644 a	0,298 a	0,346 a
Contrastes[3]			P>F[4]	
C1	0,43**	-0,095**	-0,156**	0,061**
C2	0,18**	-0,052*	-0,140**	0,088**
C3	-0,02ns	0,021ns	-0,046ns	0,067*
C4	-0,07ns	0,035ns	0,026ns	0,009*
		Camada de 0,10-0,20 m		
PD15	1,33 a	0,499 a	0,068 a	0,431 a
PD8	1,35 a	0,500 a	0,072 a	0,428 a
PD8S	1,42 a	0,467 a	0,063 a	0,404 a
PC	1,33 a	0,505 b	0,100 b	0,405 a
MN	0,79 a	0,644 a	0,302 a	0,342 a
Contrastes			P>F	
C1	0,57**	-0,151**	-0,226**	0,075**
C2	0,04ns	-0,016ns	-0,032**	0,016ns
C3	-0,02ns	-0,001ns	-0,004ns	0,003ns
C4	-0,07ns	0,033*	0,009ns	-0,024ns
		Camada de 0,20-0,30 m		
PD15	1,26 a	0,528 a	0,097 a	0,431 a
PD8	1,32 a	0,486 a	0,086 a	0,400 a
PD8S	1,35 a	0,481 a	0,084 a	0,397 a
PC	1,40 a	0,476 b	0,064 b	0,412 a
MN	0,86 a	0,646 a	0,288 a	0,358 a
Contrastes			P>F	
C1	0,47**	-0,153**	-0,205**	0,052**
C2	-0,09**	0,022*	0,025*	-0,003ns
C3	-0,06*	0,042**	0,011ns	0,031*
C4	-0,03*	0,005*	0,002ns	0,003ns

[1] Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]. [4] ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

Na camada de 0,20-0,30 m, as áreas com o sistema plantio direto apresentaram menor densidade do solo, maior porosidade total e maior macroporosidade, quando comparadas com a área com plantio convencional (contraste C2). Isto indica uma melhoria na qualidade física do solo em profundidade, decorrente possivelmente da atividade de fauna edáfica e de raízes, que atuam na formação de canais (COSTA et al., 2003).

O efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto (contraste C3) mostrou que o PD15 apresentou menor densidade do solo, maior porosidade total e maior microporosidade, quando comparado com o PD8, mostrando o efeito benéfico da utilização a longo prazo da rotação de culturas.

Todos os sistemas cultivados, com exceção da camada 0-0,10 m da área de preparo convencional, apresentaram volumes de macroporos abaixo daquele considerado ideal, de 1/3 do volume total de poros, conforme sugerido por TAYLOR e ASCHROFT (1972). Este valor seria limitante ao desenvolvimento radicular, pela reduzida taxa de difusão de gases no solo e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas. Esse problema foi mais grave em todas as camadas nas áreas no sistema plantio direto, com média (0,09 m^3 m^{-3}) e na área com preparo convencional, em especial na camada de 0,20-0,30 m, com valor de 0,06 m^3 m^{-3}. Estes dados indicam possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, desenvolvimento das raízes das culturas nas camadas desses tratamentos, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que 0,10 m^3 m^{-3} (XU et al., 1992).

4.5. Densidade relativa

Verificou-se que a máxima compactação do Latossolo Vermelho acriférrico típico (LVwf) foi de 1,39 Mg m^{-3} (Figura 7), obtida com conteúdo de água retida de 0,31 m^3 m^{-3} na tensão de 0,04 MPa, ou seja, abaixo da capacidade de campo (0,01 MPa). BEUTLER et al. (2005) encontraram valores de 1,85 Mg m^{-3} para um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e de 1,54 Mg m^{-3} para um Latossolo Vermelho eutroférrico

(LVef) e justificaram tal diferença à granulometria e ao tipo de mineral de argila envolvidos. No caso do LVd predomina quartzo e caulina, que conferem menor porosidade e no LVef, a mineralogia oxídica que condiciona a formação de estrutura granular forte muito pequena e com maior espaço poroso (FERREIRA et al., 1999). Assim, esse menor valor para a densidade máxima do LVwf era esperado, por se tratar de solo que possui menor repulsão entre as cargas elétricas dos colóides e apresentam microagregação máxima (ALLEONI e CAMARGO, 1994).

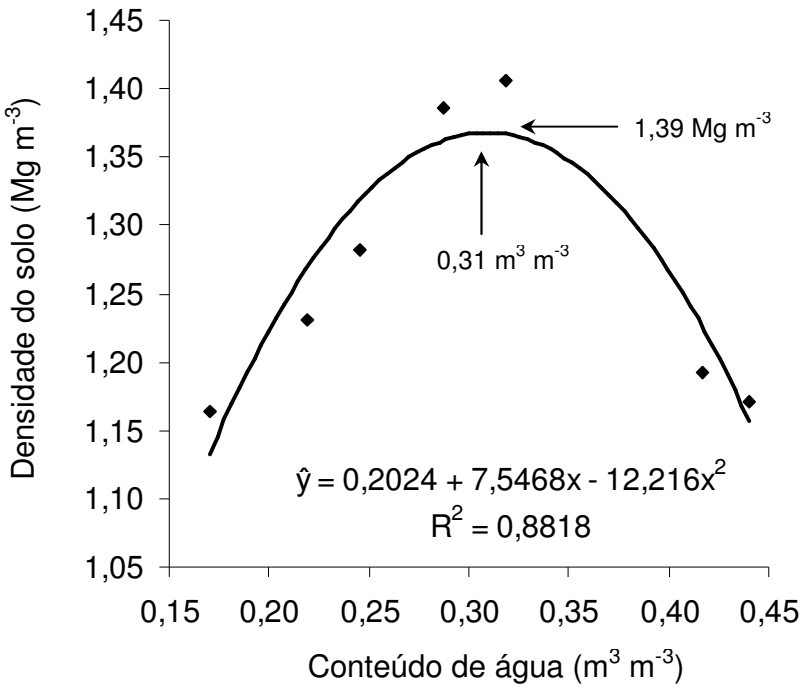

Figura 7. Densidade máxima determinada com o aparelho de Proctor no Latossolo Vermelho acriférrico típico (LVwf).

Tanto no LVwf como no LVef, o solo das áreas de mata apresentaram valores de densidade relativa (Dsr) bem menores do que as áreas cultivadas (Tabelas 13 e 14). Esse resultado era esperado, pois a condição original do solo sob vegetação nativa, com maiores teores de matéria orgânica, maior porosidade e menor densidade, como já vimos nos resultados deste trabalho citado anteriormente, também refletem na densidade relativa, já que trata-se de uma relação direta, entre a situação atual do solo e a máxima possível.

Em Guaíra, não houve diferença para a densidade relativa entre a área com preparo convencional e as áreas cultivadas no sistema plantio direto (Contraste 2) e para o tempo de adoção do sistema plantio direto (Contraste 3).

A utilização da integração lavoura-pecuária apresentou diminuição da Dsr nas camadas 0-0,10 e 0,20-0,30 m.

Na comparação entre camadas, dentro de cada sistema, o plantio direto com integração lavoura-pecuária apresentou menor Dsr na camada 0-0,10 m.

Tabela 13. Densidade relativa e teste F para os contrastes estabelecidos no LVwf

Tratamento[2]	Densidade relativa		
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,30 m
PD12	0,82 a	0,91 a	0,90 a
PD5	0,84 a	0,90 a	0,86 a
PD5I	0,64 b	0,84 a	0,81 a
PC	0,80 a	0,83 a	0,83 a
MN	0,56 a	0,59 a	0,57 a
Contrastes[3]		Estimativa e P>F[4]	
C1	0,22**	0,28**	0,28**
C2	-0,03ns	0,05ns	0,02ns
C3	-0,02ns	0,01ns	0,04ns
C4	0,20**	0,06ns	0,05*

[1] Dados transformados em ln(Ch); Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD12: plantio direto a 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto a 5 anos, sequeiro; PD8I: plantio direto a 5 anos, com integração com pecuária a 2 anos; PC: plantio convencional a mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD12 + PD8 + PD8I + PC) vs. (MN)]; C2: [(PD12+PD8+PD8I) vs. (PC)]; C3: [(PD12) vs. (PD8)]; C4: [(PD8) vs (PD8I)]. [4] ns: não significativo e **: significativo a 1% de probabilidade.

Os valores de Dsr nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m da área com sistema plantio direto de 12 anos e na camada 0,10-0,20 m da área com sistema plantio direto de 5 anos ficaram acima de 0,87 (0,90), preconizado como ideal para o bom desenvolvimento das culturas (HÅKANSSON, 1990; HÅKANSSON e LIPIEC (2000).

A camada 0-0,10 m da área com PD5I apresentou Dsr abaixo de 0,80 (0,64), o que segundo LINDSTRON e VOORHEES (1994), pode afetar a produtividade das culturas em conseqüência da redução da capacidade de armazenamento de água no solo.

As áreas com sistema plantio direto com 5 e 12 anos apresentaram, na camada 0,10-0,20 m valores de Dsr acima do considerado ideal ao desenvolvimento das culturas (HAKANSSON, 1990).

A densidade máxima do LVef de Pedrinhas Paulista foi de 1,52 Mg m^{-3}, obtida na umidade de 0,26 m^3 m^{-3} (Figura 8), correspondente a uma tensão de 0,1 MPa, portanto, com umidade retida menor do que na capacidade de campo. BEUTLER et al. (2005) encontraram valor de densidade máxima de 1,54 Mg m^{-3}, para o mesmo tipo de solo, em Jaboticabal-SP. Esses valores superiores aos encontrados para o LVwf (1,39 Mg m^{-3}), devem-se principalmente ao tipo de mineral presente nesse solo, predominantemente os óxidos de ferro, que lhe conferem menor porosidade (FERREIRA et al., 1999).

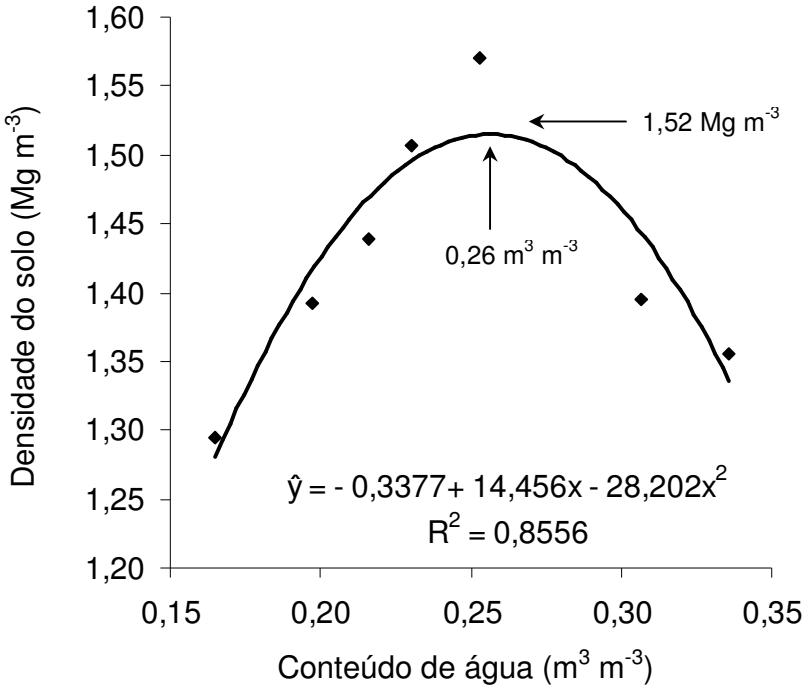

Figura 8. Densidade máxima determinada com o aparelho de Proctor no Latossolo Vermelho eutroférrico típico (LVef).

No geral os sistemas avaliados no LVef apresentaram valores de Dsr próximos ao considerado ideais ao desenvolvimento das culturas, de 0,87 (HAKANSSON, 1990), com exceção da camada 0,10-0,20 m da área com sistema plantio direto há 8 anos com

sucessão de culturas (PD8S) e da camada 0,20-0,30 da área com preparo convencional, que apresentaram respectivamente, 0,93 e 0,92.

O sistema plantio direto quando comparado com o preparo convencional (Contraste C2) mostrou-se com maior Dsr na camada 0-0,10 m e menor na camada 0,20-0,30 m.

O tempo de adoção do sistema plantio direto (Contraste C3) e a utilização da rotação de culturas (Contraste C4) não influenciaram a Dsr.

Entre as camadas avaliadas, dentro de cada sistema, apenas o preparo convencional mostrou menor Dsr na camada superficial.

Tabela 14. Densidade relativa e teste F para os contrastes estabelecidos no LVef

Tratamento[2]	Densidade relativa		
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,30 m
PD12	0,80 a	0,87 a	0,83 a
PD8	0,81 a	0,88 a	0,86 a
PD8S	0,86 a	0,93 a	0,89 a
PC	0,72 b	0,88 a	0,92 a
MN	0,51 a	0,52 a	0,56 a
Contrastes[3]		Estimativa e P>F[4]	
C1	0,29**	0,37**	0,32**
C2	0,10**	0,01ns	-0,06**
C3	-0,01ns	-0,01ns	-0,03ns
C4	-0,05ns	-0,05ns	-0,03ns

[1] Dados transformados em ln(Ch); Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; [2] PD15: plantio direto há 15 anos; PD8: plantio direto há 8 anos; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; [3] C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. (MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. (PC)]; C3: [(PD15) vs. (PD8)]; C4: [(PD8) vs (PD8S)]. [4] ns: não significativo e **: significativo a 1% de probabilidade.

4.6. Resistência do solo à penetração

Em Guaíra, na camada 0-0,10 m, os sistemas cultivados no SPD apresentaram maior resistência à penetração (RP) em comparação com a MN e PC (Figura 9). Este resultado já era esperado, uma vez que normalmente há um aumento na densidade do solo e diminuição no volume de macroporos em áreas no SPD devido ao constante tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo nesse sistema (TORMENA et al., 2002). De outro lado, o preparo do solo favoreceu uma menor RP, pelo fato do solo

estar revolvido nesta camada. Porém verificou-se para o PC, um aumento na RP nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, possivelmente devido ao “pé-de-grade” causado pelo trabalho do implemento de preparo do solo na mesma profundidade e umidade inadequada (ALVES & SUZUKI, 2004).

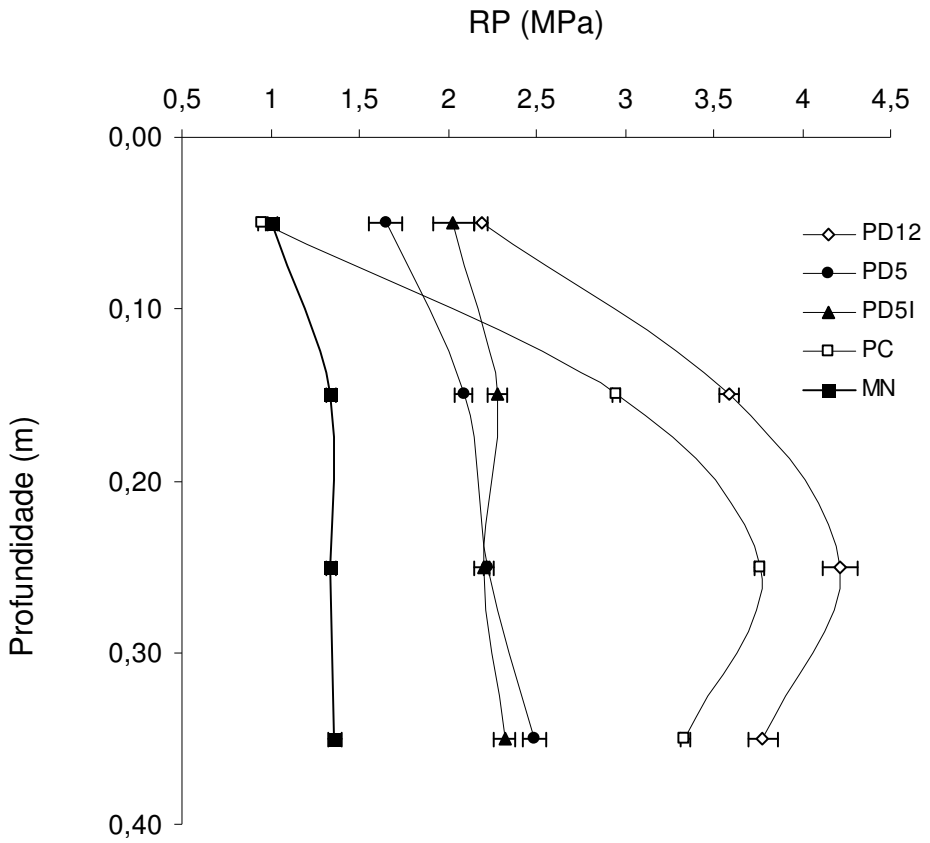

Figura 9. Resistência do solo à penetração do LVwf em função dos sistemas de manejo. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

Nas áreas MN, PD5 e PD5I do LVwf, os valores de RP não apresentaram grandes variações no perfil do solo. O PD12 apresentou valores de RP acima do preconizado por BENGOUGH e MULLINS (1990) como crítico para o desenvolvimento das cultuas, de 2 MPa, desde sua camada superficial. Não foi possível observar o efeito benéfico da utilização da integração lavoura-pecuária na RP. ALBUQUERQUE et al.

(2001) citam que sistemas de rotação de culturas sob SPD envolvendo espécies como a braquiária e com diferentes quantidades de fitomassa, podem alterar as propriedades físicas do solo, no entanto, CASTRO et al. (2005) relatam que 3 anos de utilização de pastagem no sistema integração lavoura-pecuária não foram suficientes para reduzir a RP na camada sub-superficial de um solo cultivado sob plantio convencional durante 20 anos. Pode-se então inferir então há diferença ou influência do sistema, porém o tempo de adoção ainda não foi suficiente para uma intervenção.

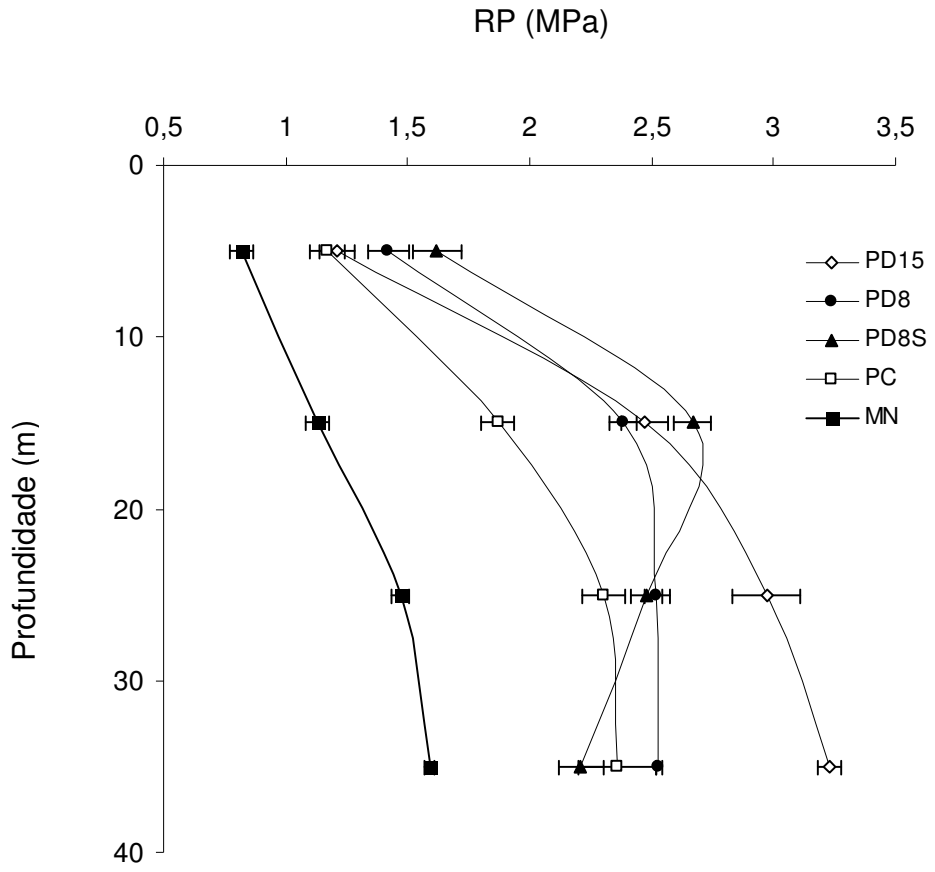

Figura 10. Resistência do solo à penetração do LVef em função dos sistemas. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

Na camada 0-0,10 m do LVef, todos os sistemas apresentaram valores de RP abaixo de 2 MPa, preconizado por BENGOUGH e MULLINS (1990) como crítico para o desenvolvimento das cultuas. No entanto, PD15, PD8 e PD8S poderiam apresentar

restrições ao desenvolvimento radicular na camada 0,10-0,30 m. ARSHAD (1996) relata que apesar dos valores mais elevados de RP em áreas de SPD serem freqüentes, estes não chegam a comprometer o sistema, devido à continuidade de poros e maior atividade microbiana, ponderando-se valores superiores em SPD. A área com 8 anos de SPD e rotação de culturas proporcionou menores valores de RP nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m em comparação com a área com mesmo tempo de adoção, porém com sucessão de culturas (soja/milho safrinha). Resultados semelhantes foram observados por TEIXEIRA et al. (2003) em um Argissolo Amarelo Distrófico, que atribuíram tal fato à contribuição dos resíduos vegetais das plantas utilizadas como cobertura.

4.7. Curvas de retenção de água e índice S

Analisando as curvas de retenção de água do LVwf e do LVef, observou-se que os tratamentos afetaram a retenção de água em todas as camadas e em todas as tensões aplicadas, com destaque para as menores tensões (Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16).

A água retida a tensões acima de 0,01 Mpa, é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas. Segundo SANCHEZ (1981), de maneira geral, a disponibilidade de água para as plantas se encontra entre 0,01 e 0,1 Mpa, sendo a compactação um fator elevador da quantidade de água nessa faixa. Entretanto, há casos em que isso não corre. Em estudos com evolução de atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho argiloso, após sete cultivos sucessivos de arroz e feijão sob irrigação por pivô central, STONE et al. (1994) observaram que a água disponível na camada superficial, 0-0,20 m, diminuiu de 10,6 para 8,0 mm, enquanto na camada de 0,20-0,40 m, o decréscimo foi de 9,0 para 7,2 mm. A interpretação dessa disponibilidade de água, contudo, não é simples, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência do solo à penetração podem dificultá-la.

A retenção de água do solo nas áreas de mata foi maior em todas as camadas. Os maiores valores de MO e menores de Ds encontrados na área sem interferência

humana (Tabelas 11 e 12 e Figuras 4 e 5) possivelmente asseguram essa característica (BEUTLER et al., 2002). Nas tensões mais baixas, a ação indireta da MO se sobressai, devido à retenção nessas tensões dependerem principalmente do efeito de capilaridade e distribuição do tamanho dos poros, ou seja, da estrutura do solo. Nas tensões mais elevadas, a água é retida, sobretudo, por fenômenos de adsorção do solo, influenciada pela textura e superfície específica do solo (MAIA et al., 2005).

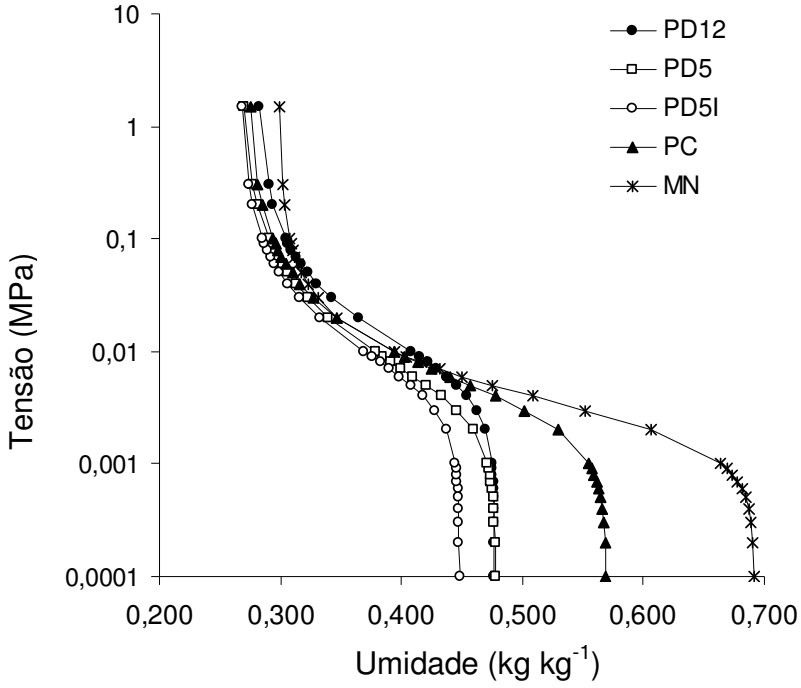

Figura 11. Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0-0,10 m, em função dos tratamentos.

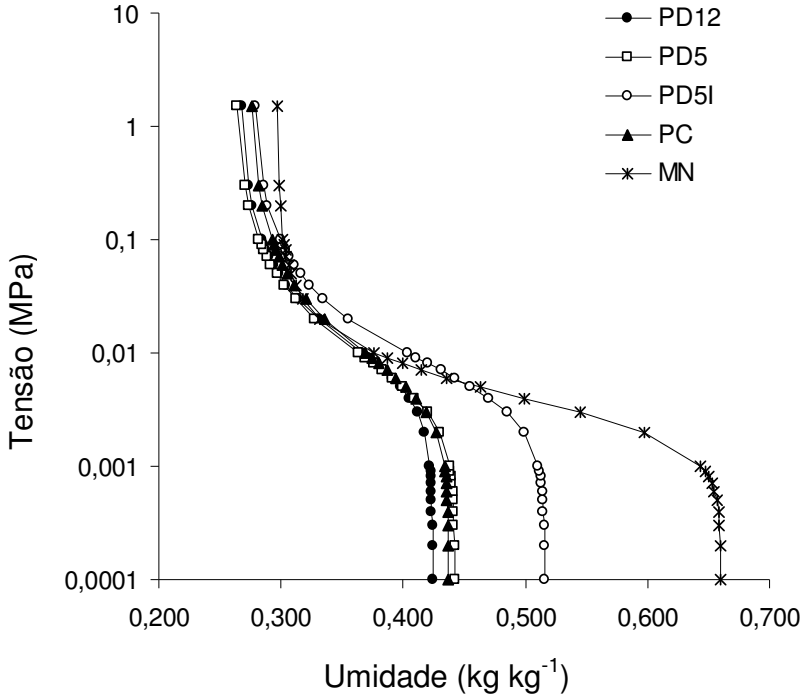

Figura 12. Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0,10-0,20 m, em função dos tratamentos.

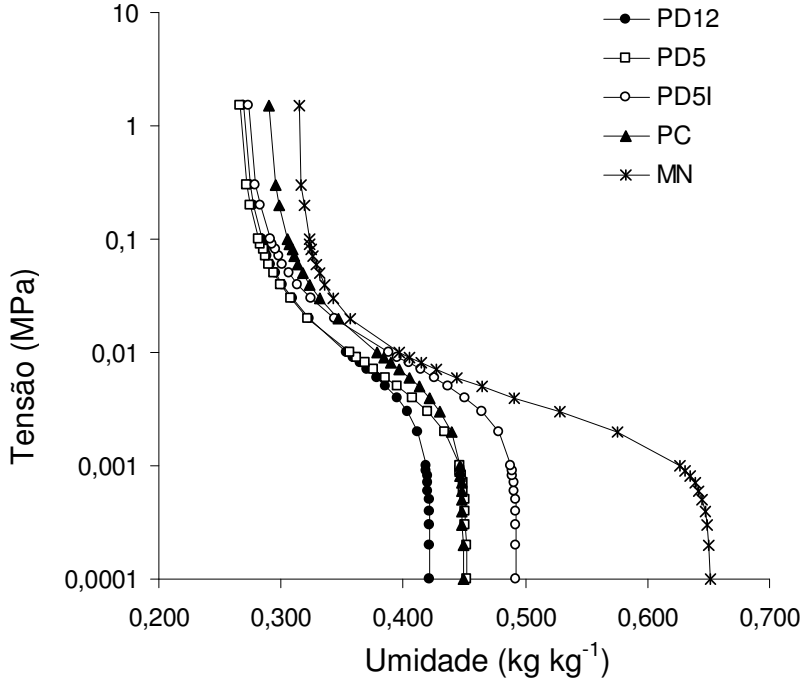

Figura 13. Curvas de retenção de água no LVwf, na camada 0,20-0,30 m, em função dos tratamentos.

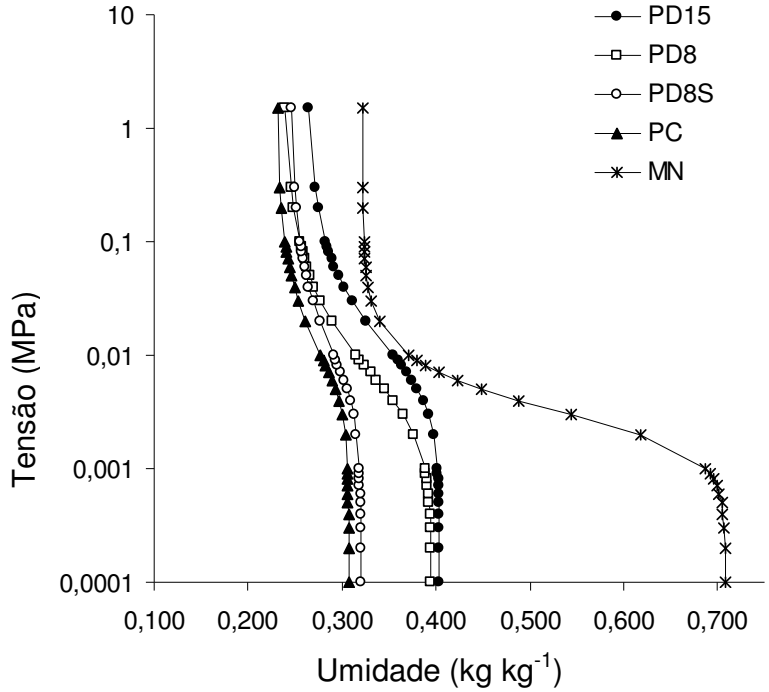

Figura 14. Curvas de retenção de água no solo na camada 0-0,10 m em função dos tratamentos no LVef.

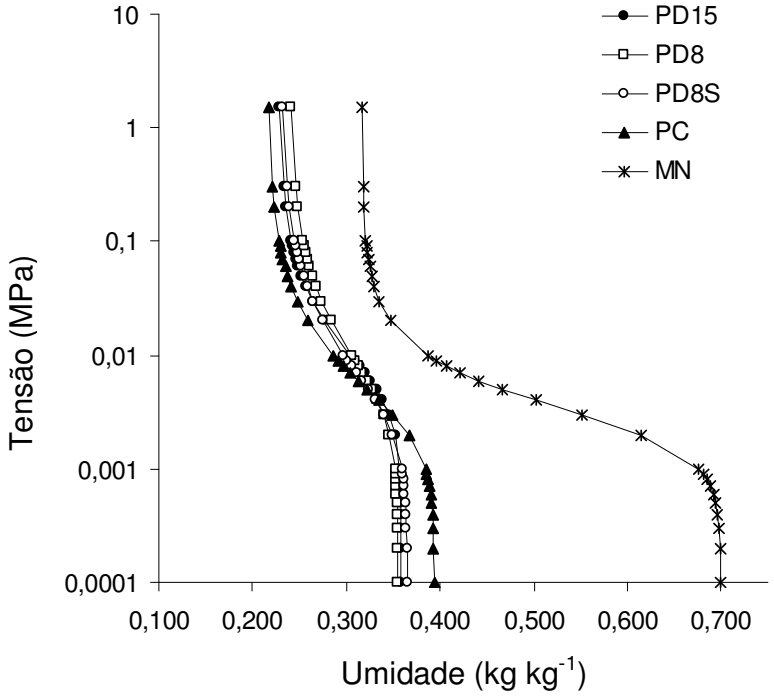

Figura 15. Curvas de retenção de água no solo na camada 0,10-0,20 m em função dos tratamentos no LVef.

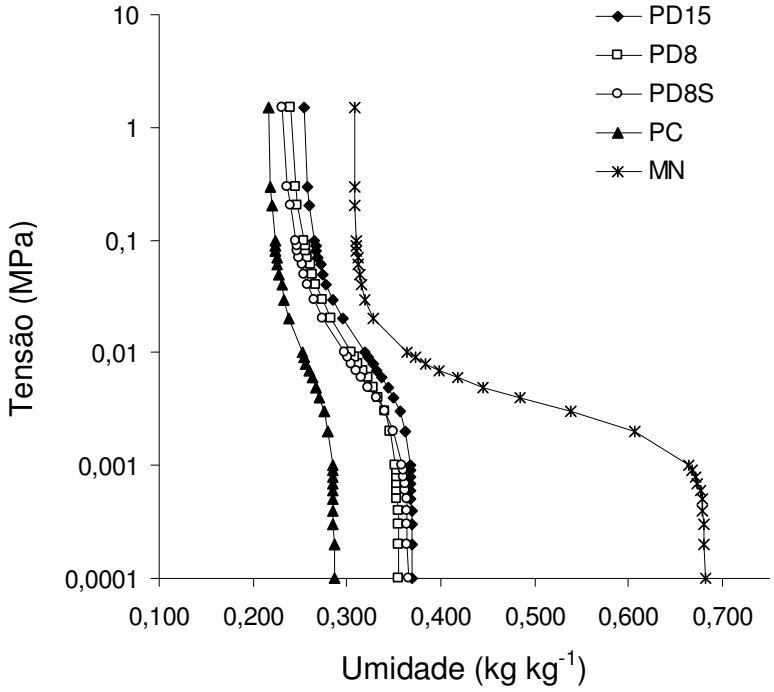

Figura 16. Curvas de retenção de água no solo na camada 0,20-0,30 m em função dos tratamentos no LVef.

No LVwf, o sistema plantio direto mostrou-se com menor valor de Índice S em relação ao plantio convencional na camada 0-0,10 m e maior na camada 0,20-0,30m (contraste C2) (Figura 17). Esta resposta mostra uma pior qualidade do solo na camada superficial nas áreas com sistema plantio direto, devido principalmente aos maiores valores de densidade do solo nesta camada (Tabela 11). A área com sistema plantio direto de 5 anos apresentou maior valor de S do que a áreas com 12 anos irrigada (contraste 3) somente na camada 0,20-0,30 m. A integração lavoura–pecuária promoveu incremento no valor de S na camada mais profunda (contraste 4).

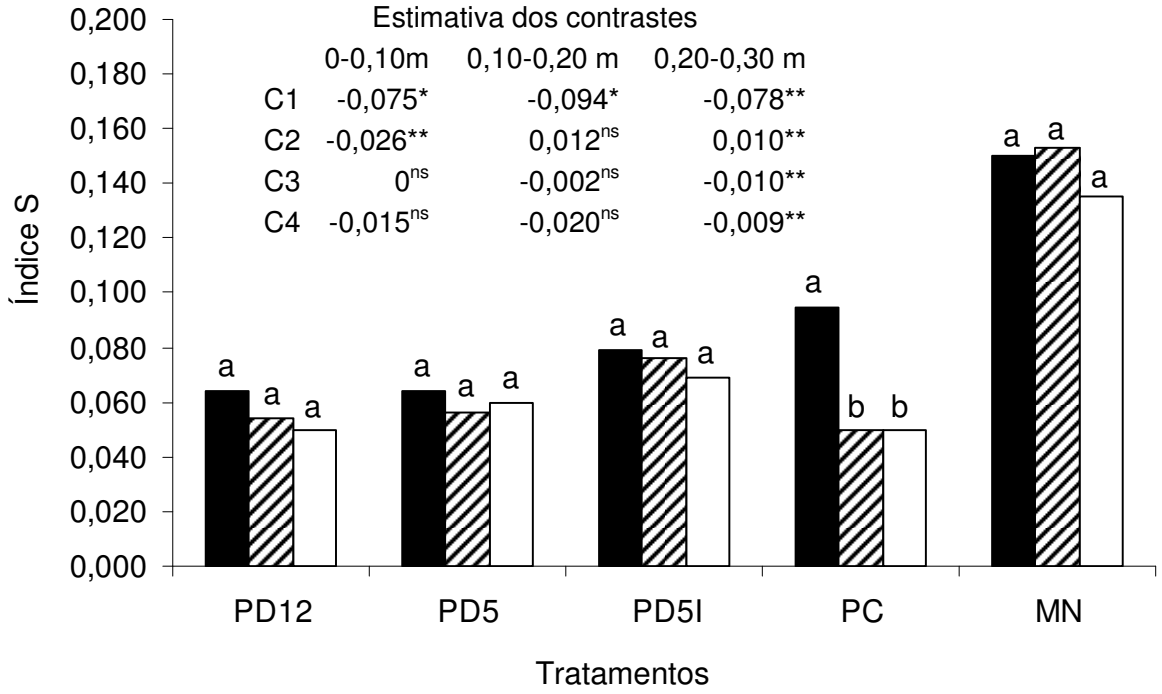

Figura 17. Valores de Índice S e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três camadas no LVwf. Camada de 0-0,10m (■); 0,10-0,20m (▨); 0,20-0,30m (□); PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PDI: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: preparo convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; (3) C1: [(PD12 + PD5 + PDI + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PDI) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs. -(PDI)]. (4) ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

Considerando em conjunto as três camadas amostradas, o índice S correlacionou-se significativamente com todos os atributos físicos do LVwf avaliados e a MO (Figuras 18,19, 20 e 21) e as funções de regressão ajustaram-se ao modelo linear. Com o aumento da macroporosidade e MO houve correlação positiva em relação ao índice S, enquanto com o aumento da microporosidade e da densidade do solo, correlações negativas foram observadas, concordando com STONE et al. (2005). Também foi observado por DEXTER (2004a) correlação negativa do índice S em função da densidade do solo e positiva em função da MO. Segundo o autor o decréscimo da MO e aumento da Ds estão associados com a degradação física do solo. Verificou-se que o maior coeficiente de determinação foi encontrado para a macroporosidade, corroborando com STONE et al. (2005).

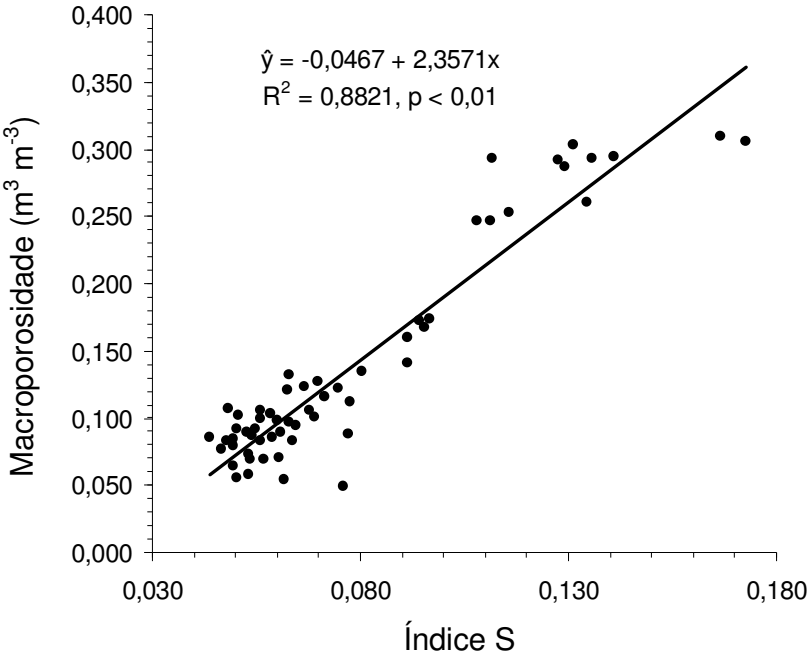

Figura 18. Regressão da macroporosidade do LVwf em função do índice S. (n = 60)

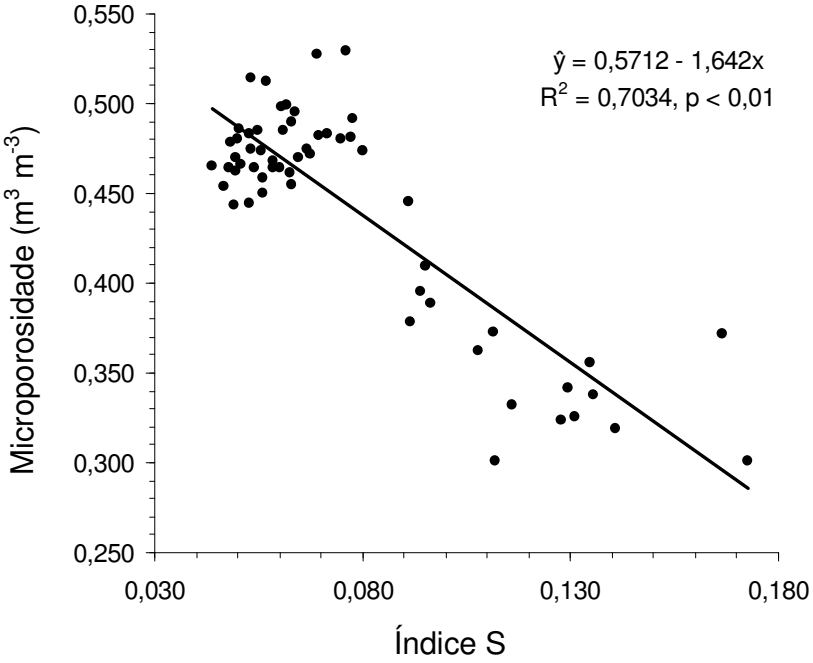

Figura 19. Regressão da microporosiade do LVwf em função do índice S. (n = 60)

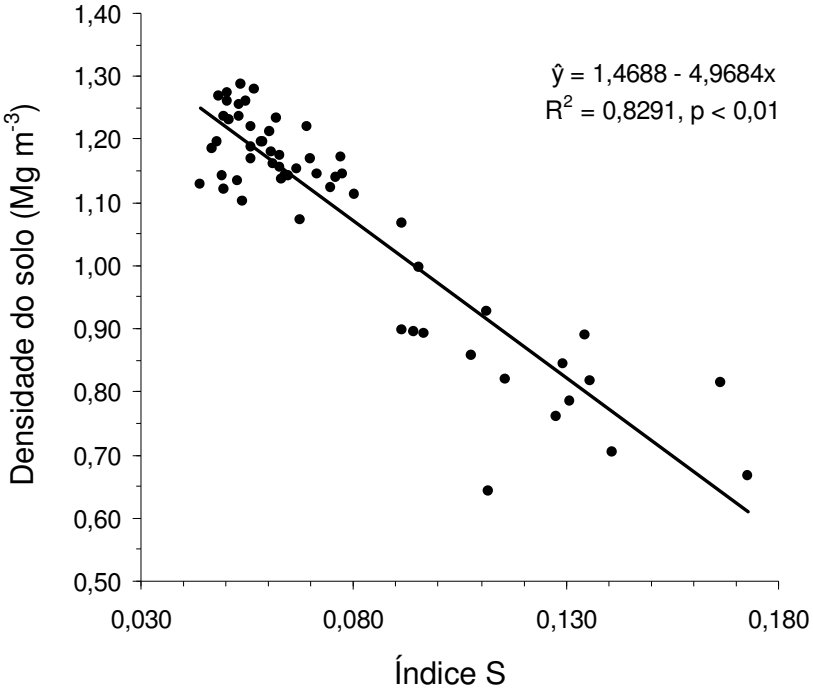

Figura 20. Regressão da Ds do LVwf em função do índice S. (n = 60)

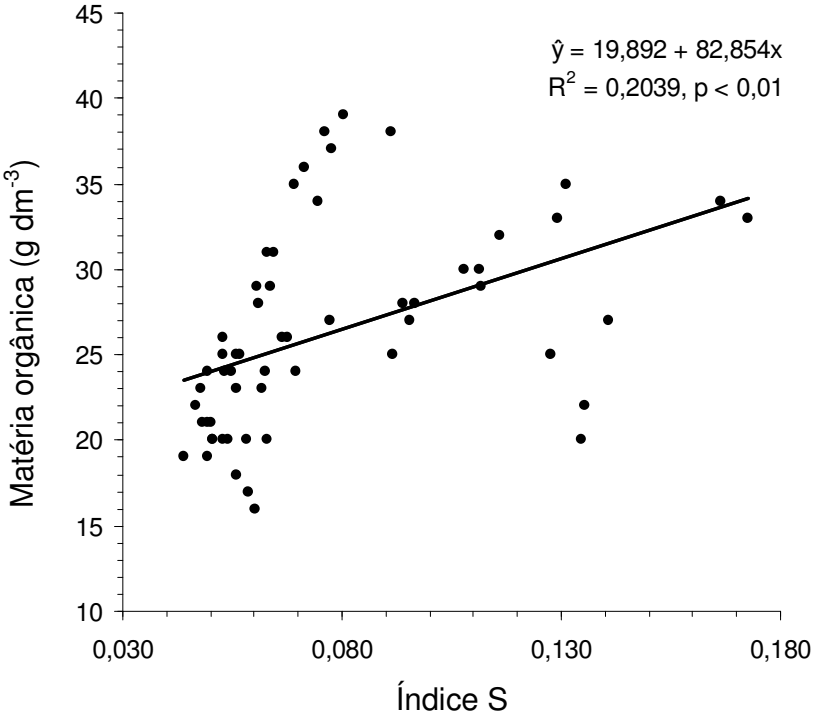

Figura 21. Regressão da matéria orgânica do LVwf em função do índice S. (n = 60)

Considerando o limite estabelecido por DEXTER (2004a), S = 0,035, para solos com boa qualidade estrutural, os valores limites para os atributos físicos do LVwf seriam: Macro = 0,026 m^3 m^{-3}, Micro = 0,513 m^3 m^{-3}, Ds = 1,29 Mg m^{-3} e MO = 17,83 g dm^{-3}.

No LVef os valores de Índice S encontrados na camada superficial das áreas cultivadas ficaram acima do preconizado por DEXTER (2004a), no entanto, nas camadas subsuperficiais, ficaram muito próximas ou abaixo da preconizada pelo autor como ideais ao desenvolvimento das culturas (0,035) (Figura 22).

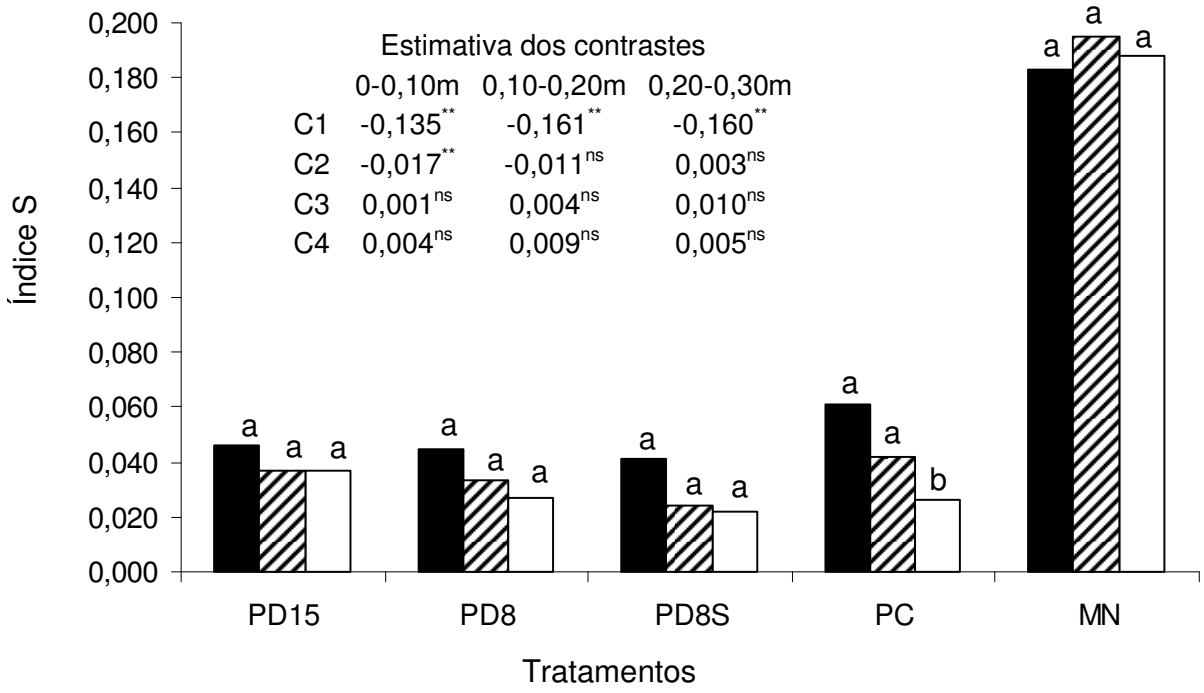

Figura 22. Valores de Índice S e estimativa dos contrastes estabelecidos para os cinco tratamentos e três camadas no LVef. Camada de 0-0,10m (■); 0,10-0,20m (▨); 0,20-0,30m (□); PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: preparo convencional há mais de 20 anos; MN: mata nativa; C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]; ^{ns}: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade.

A mata natural apresentou maior valor de S em relação às áreas cultivadas. O sistema plantio direto apresentou menor valor de S em relação ao preparo convencional

na camada superficial, refletindo as condições de maior densidade do solo, menor macroporosidade e maior microporosidade encontradas no sistema plantio direto nesta camada. Os contrastes que verificavam os efeitos da idade de adoção do sistema e da utilização de rotação de culturas não foram significativos.

Considerando em conjunto as três camadas amostradas, o índice S correlacionou-se significativamente com todos os atributos físicos do LVef avaliados, mas não com a MO (Figura 23, 24, 25 e 26) e as funções de regressão entre os atributos físicos em função de S ajustaram-se ao modelo linear. Com o aumento da macroporosidade houve correlação positiva em relação ao índice S, enquanto com o aumento da microporosidade e da densidade do solo, correlações negativas foram observadas, concordando com STONE et al. (2005).

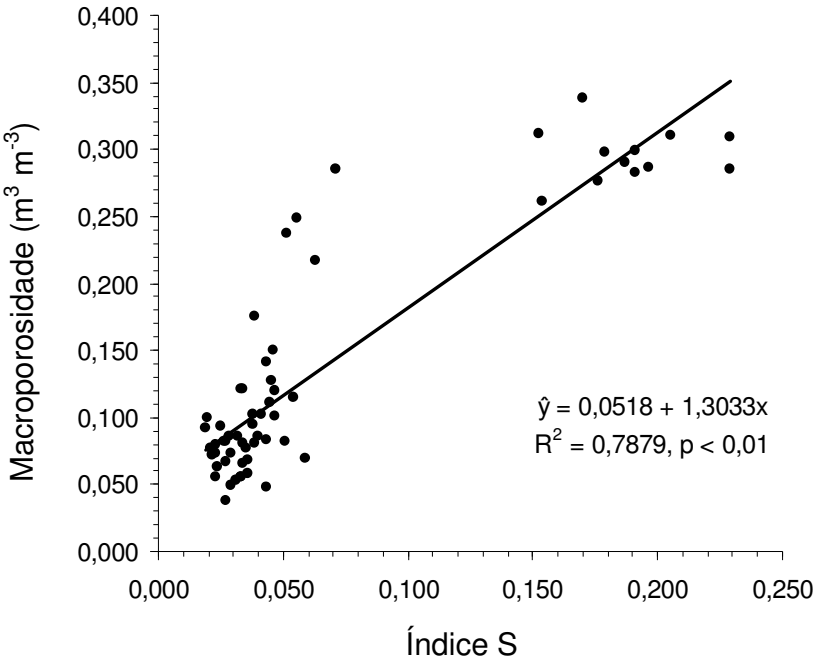

Figura 23. Regressão da macroporosidade do LVef em função do índice S. (n = 60)

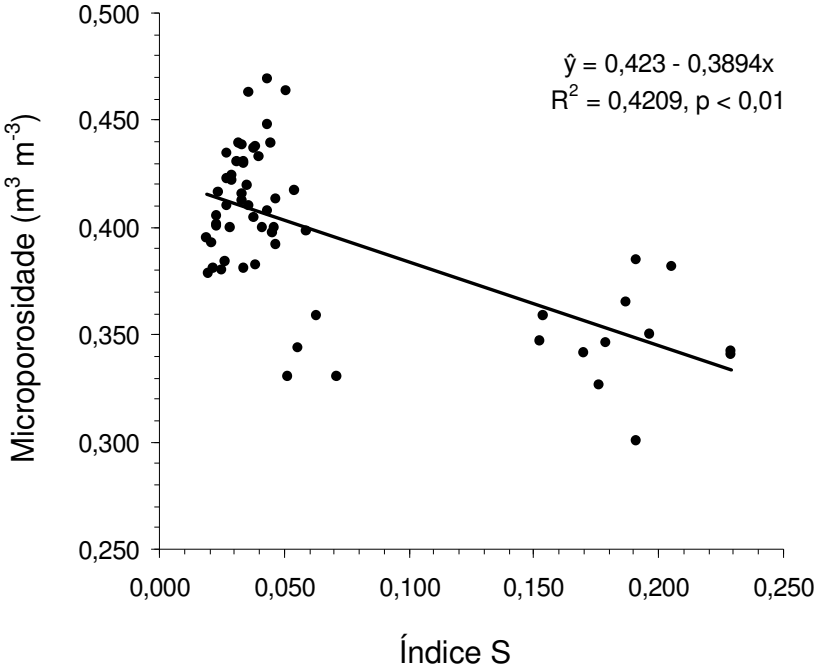

Figura 24. Regressão da microporosiade do LVef em função do índice S. (n = 60)

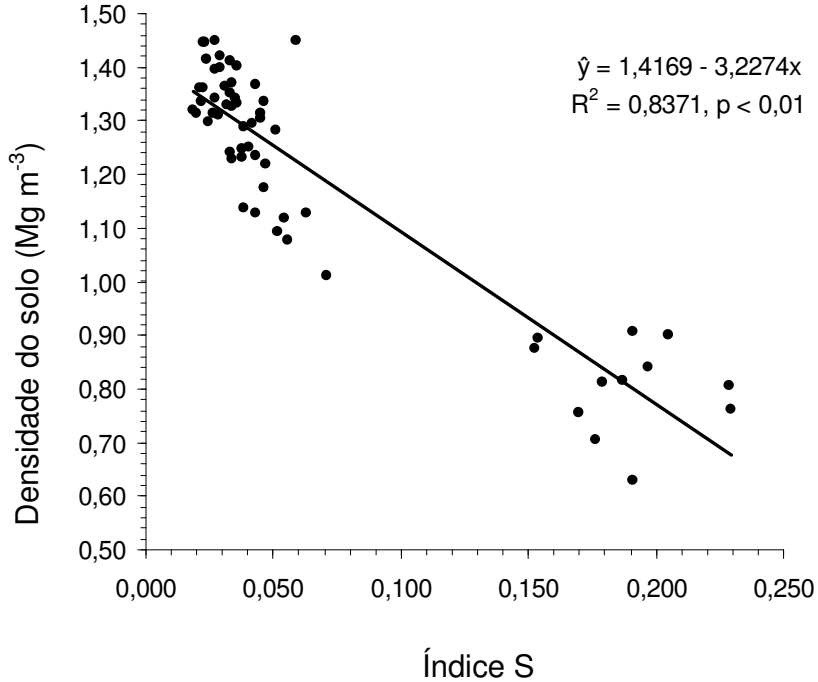

Figura 25. Regressão da Ds do LVef em função do índice S. (n = 60)

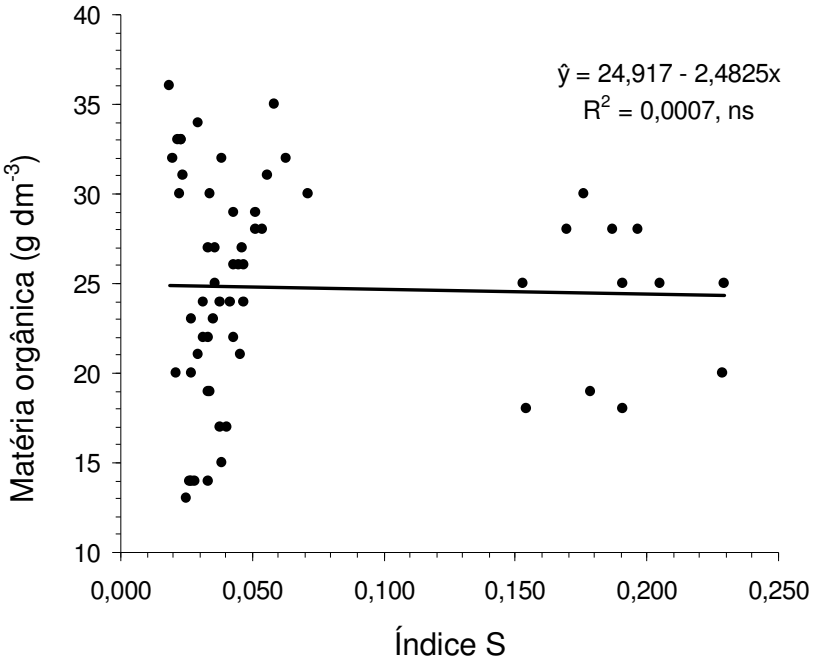

Figura 26. Regressão da matéria orgânica do LVef em função do índice S. (n = 60)

Também foi observada por DEXTER (2004a) correlação negativa do índice S em função da densidade do solo. Era de se esperar resposta positiva em função da MO, mas isto não ocorreu. Segundo o autor o decréscimo da MO e aumento da Ds estão associados com a degradação física do solo. Verificou-se que o maior coeficiente de determinação foi encontrado para a densidade do solo.

Considerando o valor estabelecido por DEXTER (2004a), S = 0,035, para solos com boa qualidade estrutural, os valores limites para os atributos físicos do LVef de Pedrinhas Paulista seriam: Macroporosidade = 0,097 m^3 m^{-3}, Microporosidade = 0,409 m^3 m^{-3} e Ds = 1,30 Mg m^{-3}. Este valor de Macroporosidade ficou bem próximo aos 0,10 m^3 m^{-3} considerado limite inferior para condições de ideais de aeração para o desenvolvimento das plantas (XU et al., 1992) e a Ds próxima dos 85% da máxima compactação suportada pelo solo, relação considerada ideal ao desenvolvimento da soja (BEUTLER et al., 2005).

4.8. Análise química do solo

O cultivo do solo (Contraste C1) alterou significativamente a maioria dos parâmetros químico avaliados (Tabela 15). Em todas as camadas, a elevação nos valores de P, pH, K, Ca, SB e V%, e diminuição da acidez potencial e da CTC, constatados na área cultivada, possivelmente estejam relacionadas com o processo contínuo de correção do solo e adubação das culturas (ARAÚJO, et al., 2000).

O sistema plantio direto em relação ao preparo convencional (Contraste C2) promoveu redução no teor de P em todas as camadas avaliadas, porém manteve, nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, níveis considerados alto e médio, respectivamente, para culturas anuais (RAIJ et al., 1997). Era de se esperar que teores mais elevados de P fossem encontrados no sistema plantio direto, principalmente nas camadas superficiais, já que a pequena mobilização do solo, mantém o adubo residual na profundidade de aplicação os restos culturais na superfície e no preparo convencional, há a incorporação desse material, o que facilita a adsorção específica do P, pelo maior contato com sesquióxidos de Fe e Al do solo (DE MARIA e CASTRO, 1993). No entanto, o sistema plantio direto também não foi eficiente em aumentar os teores de MO do solo em relação ao preparo convencional, que possivelmente provocaria uma redução na adsorção do P, pois os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da MO bloqueiam dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al (HUE, 1991).

O teor de Ca em todas as camadas foi menor no sistema plantio direto em relação ao preparo convencional, no entanto, esses valores não influenciaram o pH do solo. Em ambos os casos os valores de pH encontrados ficaram acima de 5,5, considerado ideal ao desenvolvimento da maioria das plantas. CIOTTA et al. (2002), em um Latossolo Bruno de Guarapuava-PR, constataram valores mais baixos de pH em SPD nas camadas mais superficiais do solo e atribuíram não só à acidificação provocada pela decomposição de material orgânico na superfície, como também ao efeito acidificante decorrente da utilização de fertilizantes nitrogenados solúveis de fontes amoniacais. No entanto, SILVA e SILVEIRA (2002) verificaram que não houve acidificação em área sob plantio direto em um Latossolo Vermelho Distroférrico de Santo Antônio de Goiás-GO.

Tabela 15. Resultado da análise química do LVwf em função dos sistemas avaliados

Tratamento	P-resina	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	mg dm^{-3}			---------- $mmol_c$ dm^{-3} ----------					%
				Camada 0-0,10 m					
PD12	47 a	5,6 a	4,7 a	38 a	15 a	15 a	58 a	73 a	80a
PD5	64 a	6,2 a	3,5 a	52 a	20 a	17 a	75 a	91 a	81 a
PD5I	66 a	6,0 a	2,4 a	50 a	14 a	21 a	66 a	87 a	76 a
PC	79 a	5,7 a	4,9 a	60 a	15 a	26 a	79 a	105 a	76 a
MN	15 a	4,4 a	2,0 a	23 a	13 a	75 a	38 a	113 a	33 a
Contrastes				P>F					
C1	49**	1,5**	1,9**	27**	3^{ns}	-55**	31**	-24**	45**
C2	-20**	0,2^{ns}	-1,4**	-13**	1^{ns}	-8**	-13^{ns}	-21**	3^{ns}
C3	-17**	-0,6**	1,3**	-14*	-5^{ns}	-2^{ns}	-17^{ns}	-19*	-1^{ns}
C4	-2^{ns}	0,2^{ns}	1,1**	2^{ns}	6^{ns}	-4^{ns}	9^{ns}	4^{ns}	5^{ns}
				Camada 0,10-0,20 m					
PD12	23 b	5,0 b	1,6 b	22 b	8 b	22 a	32 b	54 b	59 b
PD5	47 b	6,4 a	1,3 b	48 a	19 a	14 a	69 a	83 ab	82 a
PD5I	37 b	5,4 b	1,2 b	29 b	8 b	28 a	39 b	66 b	58 b
PC	56 b	5,7 a	4,3 b	54 a	12 ab	26 a	71 a	97 a	73 a
MN	13 a	4,2 a	1,5 ab	14 b	8 b	69 a	23 b	92 b	24 b
Contrastes				P>F					
C1	28**	1,4**	0,6**	24**	4^{ns}	-47**	30**	-17**	44**
C2	-20**	-0,1^{ns}	-2,9**	-21**	0^{ns}	-5*	-24**	-29**	-7*
C3	-24**	-1,4**	0,3^{ns}	-26**	-10**	8**	-37**	-29**	-23**
C4	10*	1,0**	0,1^{ns}	19**	11**	-14**	30**	17*	24**
				Camada 0,20-0,30 m					
PD12	11 c	5,0 b	1,0 b	14 b	6 b	21 a	21 b	42 b	50 c
PD5	16 c	6,4 a	1,5 b	36 b	18 a	16 a	55 b	70 b	75 a
PD5I	19 c	5,6 b	1,4 b	26 b	8 b	26 a	35 b	61 b	57 b
PC	22 c	5,8 a	3,7 b	44 b	10 b	22 a	58 b	80 b	72 a
MN	10 a	4,3 a	1,1 b	11 b	7 b	59 b	19 b	78 c	23 b
Contrastes				P>F					
C1	7**	1,4**	0,8**	19**	4^{ns}	-38**	23**	-15*	41**
C2	-7**	-0,1^{ns}	-2,4**	-19**	1^{ns}	-1^{ns}	-21**	-22**	-11**
C3	-5*	-1,4**	-0,5^{ns}	-21**	-12**	5*	-34**	-28**	-25**
C4	-3^{ns}	0,8**	0,1^{ns}	10*	10**	-10**	20*	9^{ns}	19**
CV (%)	17,4	2,1	12,5	11,6	16,7	14,3	11,8	8,1	6,3

(1) Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; (2) PD12: plantio direto a 12 anos, irrigado; PD5: plantio direto a 5 anos, sequeiro; PDI: plantio direto a 5 anos, com integração com pecuária a 2 anos; PC: plantio convencional a mais de 20 anos; MN: mata nativa; (3) C1: [(PD12 + PD5 + PD5I + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD12+PD5+PD5I) vs. -(PC)]; C3: [(PD12) vs. -(PD5)]; C4: [(PD5) vs. -(PD5I)]. (4) ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

O acúmulo de K, normalmente encontrado em áreas de plantio direto (CENTURION et al., 1985; CASTRO et al., 1987) não foi observado neste trabalho, apresentando a área de preparo convencional os maiores valores, em todas as

camadas. Tal acúmulo provavelmente depende do tipo de solo (textura, mineral de argila), do regime de drenagem e da quantidade de adubo adicionada. Os menores teores de K e Ca nas áreas com sistema plantio direto ainda concorreram para a diminuição da SB, nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e a CTC em todas as camadas. O efeito do sistema plantio direto (Contraste C2) ainda permitiu inferir que a saturação por bases (V%), por ser intimamente ligada à SB, seguiu as mesmas tendências desta, com menores valores em relação ao preparo convencional.

O tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação (Contraste C3), promoveu redução no teor de P em todas as camadas avaliadas. Possivelmente, como não houve calagem no período que diferencia os tratamentos, foram encontrados menores teores de Ca e Mg, que ajudaram a abaixar o valor do pH, diminuindo assim a disponibilidade de P. Estes menores teores de Ca e Mg também influenciaram nos menores teores de SB, nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e diminuição da CTC do solo em todas as camadas.

Maior teor de K na camada 0-0,10 m foi verificado em função do tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação, e tal resposta é atribuída à deposição dos fertilizantes à base de K nos sistemas conservacionistas ser feita na superfície ou na linha de semeadura, além da manutenção dos resíduos vegetais na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas mais superficiais do solo (SANTOS e TOMM, 2003).

Na camada 0-0,10 m, onde os maiores efeitos da utilização do SPD são encontrados, a área com integração lavoura-pecuária só diferiu quanto o teor de K, apresentando menor valor (2,4 – 3,5 $mmol_c\ dm^{-3}$). Os resultados ainda revelam diminuição nos teores de Ca e Mg em profundidade, consequentemente, menores valores de pH, SB, CTC e V%.

Entre os contrastes estudados, houve efeito positivo do tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação e negativo da utilização da integração lavoura-pecuária, no incremento do teor de Mg, nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. No entanto, os teores encontrados são considerados altos (> 8 $mmol_c\ dm^{-3}$) (RAIJ et al. 1997).

Na avaliação entre camadas dentro de cada tratamento, o teor de P na área de mata natural apresentou homogeneidade no perfil do solo. Em contrapartida, nos

tratamentos com área cultivada (SPD e PC), houve decréscimo no teor P em profundidade, influenciado principalmente pela deposição de adubo nas camadas superiores e à baixa mobilidade do nutriente no solo (LANTMANN, 2000).

Os tratamentos PD5, PC e MN apresentaram valores de pH homogêneos no perfil do solo. Os tratamentos PD12 e PD5I proporcionaram acidificação na camada 0-0,10 m, decorrentes dos menores teores de Ca e Mg.

As diferenças nos valores de SB entre as camadas, ocorreram respeitando as diferenças entre os teores de Ca e Mg, componentes da SB.

Entre as camadas avaliadas, nas áreas cultivadas, o teor de K foi maior na camada superior do solo. MERTEN e MIELNICZUK (1991) citam que as altas quantidades absorvidas e posteriormente restituídas ao solo a partir da decomposição da parte aérea, tendem a acumular o K na superfície do solo. A área de MN apresentou teores de K diferindo somente entre a camada superficial e a mais profunda.

Os tratamentos PD12, PD5I e MN apresentaram os maiores teores de Ca e Mg e CTC na camada superficial do solo. Os tratamentos PD5 e PC proporcionaram maiores teores de Ca e Mg somente na camada mais profunda os menores valores. O tratamento PD5 mostrou diferença na CTC entre a camada superior e a mais profunda. O PC apresentou menor CTC na camada mais profunda avaliada (0,20-0,30).

Os tratamentos PD5 e PC apresentaram distribuição homogenia do V% no perfil do solo. PD5I e MN apresentaram maior valor de V% na camada superficial e PD12, mostrou um decréscimo de V% em profundidade.

Em Pedrinhas Paulista, o cultivo do solo (Contraste C1) mostrou um incremento no teor de P e Ca em todas as camadas avaliadas, que possivelmente estejam relacionados com o contínuo processo de correção do solo e adubação das culturas, concordando com ARAÚJO et al. (2003). O aumento no teor de Ca, juntamente com a diminuição da acidez potencial contribuíram para a elevação do valor do pH, SB e V% nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Mesmo com as constantes adubações nas áreas cultivas, não houve diferença quanto ao teor de K em relação à área de mata. De acordo com FIDALSKI et al. (1997) a ausência de cobertura vegetal e os baixos teores de carbono estão associados aos menores teores de K, devido a redução no teor de carbono e CTC do solo, tornando-o mais sujeito as perdas por lixiviação.

No LVef, todos os contrastes, nas três camadas avaliadas, apresentaram diferença significativa para o teor de P do solo (Tabela 16). Nas camadas 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, os valores foram considerados alto, médio e baixo, respectivamente, com exceção feita à área de PD8, que apresentou valores considerados muito altos, em todas as camadas (RAIJ et al., 1997).

Os teores de P e K encontrados para o SPD foram maiores do que aqueles para o PC. Resultados semelhantes foram obtidos por DE MARIA (1999) e SANTOS e TOMM (2003). No SPD, o adubo é aplicado na superfície do solo ou na linha de semeadura, além disso, os restos culturais são deixados na superfície, o que faz com que esses elementos se acumulem na superfície (CASTRO, 1995). No sistema convencional de preparo, a incorporação do adubo e restos vegetais no solo facilita a adsorção do fósforo, pelo maior contato com sesquióxidos de Fe e Al do solo (DE MARIA e CASTRO, 1993). Com relação aos teores de Ca e Mg na camada superficial, não houve diferença entre SPD e PC, concordando com os dados de KLEPKER e ANGHINONI (1995), no entanto, o SPD apresentou maior acidez potencial e CTC, menor valor de pH e V%. Este resultado pode ser atribuído não só à decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo nesse sistema, com provável liberação de ácidos orgânicos, mas também à adição de fertilizantes nitrogenados que promovem uma frente de acidificação, com abaixamento do pH, porém sem alterar a saturação por bases nem aumentar a toxidez por alumínio (SALET, 1994).

O tempo de adoção do SPD promoveu diminuição nos teores de P, K e Mg em todas as camadas, que influenciaram nos menores valores de SB e CTC. Na camada 0-0,10 m, apesar do tempo de adoção do sistema ter promovido decréscimo nos valores de Ca e Mg, não foi suficiente para promover acidificação, confirmado pelos valores de pH e H+Al.

Dentro de cada tratamento, o PD15 e MN não apresentaram diferença significativa para o teor de P entre as camadas avaliadas. O sistema plantio direto com sucessão de culturas (PD8S) apresentou maior teor de P na camada superficial. O tratamento PD8 apresentou maiores teores de P nas camadas superficial e intermediária. No PC, houve diferença entre os teores de P encontrados na superfície com os teores em profundidade (0,20-0,30m).

Tabela 16. Resultado da análise química do LVef em função dos sistemas avaliados

Tratamento	P-resina	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	mg dm^{-3}			---------- $mmol_c$ dm^{-3} ----------					%
				Camada 0-0,10 m					
PD15	40 a	4,8 a	4,1 a	33 a	11 a	48 a	47 a	96 a	50 a
PD8	159 a	4,8 a	7,5 a	43 a	16 a	56 a	66 a	122 a	55 a
PD8S	75 a	5,1ab	4,8 a	38 a	16 a	40 a	58 a	98 a	60 a
PC	52 a	5,2 a	3,8 a	38 a	16 a	35 a	57 a	92 a	62 a
MN	11 a	4,6 a	5,3 a	17 a	13 a	47 a	35 a	82 a	42 a
Contrastes				P>F					
C1	71^{**}	$0,4^{**}$	$-0,3^{ns}$	21^{**}	2^{ns}	-2^{ns}	22^{**}	20^{**}	15^{**}
C2	39^{**}	$-0,3^{**}$	$1,7^{**}$	0^{ns}	-2^{ns}	13^{**}	0^{ns}	13^{**}	-7^{*}
C3	-119^{**}	0^{ns}	$-3,4^{**}$	-10^{**}	-5^{**}	-8^{ns}	-19^{**}	-26^{**}	-5^{ns}
C4	84^{**}	$-0,3^{*}$	$2,7^{**}$	5^{ns}	0^{ns}	16^{**}	8^{ns}	24^{**}	-5^{ns}
				Camada 0,10-0,20 m					
PD15	24 a	4,9 ab	3,3 ab	30 a	9 a	41 a	43 a	84 ab	51 a
PD8	142 a	4,8 a	6,4 b	36 b	14 b	56 a	56 b	111 ab	50 a
PD8S	36 b	5,0 b	3,7 b	33 ab	11 b	41 a	48 b	89 a	54 a
PC	31 ab	5,2 a	2,8 b	36 ab	14 a	32 a	52 a	84 ab	62 a
MN	10 a	4,4 b	4,1 b	15 a	11 ab	67 a	30 a	97 a	31 b
Contrastes				P>F					
C1	48^{**}	$0,6^{**}$	$-0,1^{ns}$	19^{**}	1^{ns}	-18^{**}	20^{**}	-5^{ns}	23^{**}
C2	29^{**}	$-0,3^{**}$	$1,7^{**}$	-3^{ns}	-3^{**}	14^{**}	-3^{ns}	11^{**}	-10^{**}
C3	-118^{**}	$0,1^{*}$	$-3,1^{**}$	-6^{ns}	-5^{**}	-15^{**}	-13^{**}	-27^{**}	1^{ns}
C4	106^{**}	$-0,2^{*}$	$2,7^{**}$	3^{ns}	3^{*}	15^{**}	8^{ns}	22^{**}	-4^{ns}
				Camada 0,20-0,30 m					
PD15	16 a	5,1 a	2,9 b	29 a	9 a	34 a	41 a	75 b	55 a
PD8	94 b	4,8 a	6,0 b	34 b	13 b	48 a	52 b	100 b	52 a
PD8S	13 b	5,2 a	2,5 b	29 b	8 c	30 a	39 c	69 b	57 a
PC	11 b	5,3 a	2,1 b	30 b	11 b	28 a	43 b	70 b	61 a
MN	12 a	4,3 b	3,7 b	13 a	9 b	67 a	26 a	93 a	29 b
Contrastes				P>F					
C1	22^{*}	$0,8^{**}$	$-0,3^{ns}$	18^{**}	1^{ns}	-32^{**}	18^{**}	-15^{**}	27^{**}
C2	30^{**}	$-0,3^{*}$	$1,7^{**}$	1^{ns}	-1^{ns}	-9^{*}	1^{ns}	11^{*}	-6^{ns}
C3	-78^{**}	$0,3^{*}$	$-3,1^{**}$	-5^{ns}	-4^{**}	-14^{**}	-11^{*}	-25^{**}	3^{ns}
C4	81^{**}	$-0,4^{**}$	$3,5^{**}$	5^{ns}	5^{**}	18^{**}	13^{*}	31^{**}	-5^{ns}
CV (%)	26,7	2,1	11,2	10,2	9,7	15,8	9,0	9,4	7,2

(1) Utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as camadas dentro de cada tratamento; (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional a mais de 20 anos; MN: mata nativa; (3) C1: [(PD15 + PD8 + PD8S + PC) vs. -(MN)]; C2: [(PD15+PD8+PD8S) vs. -(PC)]; C3: [(PD15) vs. -(PD8)]; C4: [(PD8) vs -(PD8S)]. (4) ns: não significativo; *: significativo a 5% e **: significativo a 1% de probabilidade.

A área com rotação de culturas apresentou maiores valores de P e K, em relação à área sem rotação de culturas (Contraste C4), em todas as camadas avaliadas. De modo geral os valores são considerados médios e altos (RAIJ et al., 1997). A rotação

de culturas também promoveu acidificação do solo em todas as camadas avaliadas, apresar dos teores de Ca não apresentarem diferença e os de Mg serem maiores nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Esse incremento no teor de Mg contribuiu para um acréscimo no valor de SB na camada 0,20-0,30 m.

Dentro de cada tratamento, os maiores teores de K foram obtidos na camada superficial do solo. Tal fato pode ser considerado como conseqüência das altas quantidades absorvidas e depois restituídas na superfície do solo em função da decomposição dos restos vegetais (MERTEN e MIELNICZUK, 1991). Exceção feita ao PD15, que teve diferença somente entre os teores da camada superficial com os da camada mais profunda.

O tratamento PD15 apresentou homogeneidade nos teores de Ca e Mg ao longo do perfil do solo, que refletiram nos valores de SB e V%. O PD8 apresentou maior teor de Ca e Mg na camada superficial. Os tratamentos PD8S e PC apresentaram teores de Ca que diferiram entre a camada superficial e a mais profunda (0,20-0,30m). O PD8S ainda apresentou decréscimo gradual no teor de Mg ao longo do perfil. A MN não apresentou diferença no teor de Ca, SB e CTC no perfil e apresentou teores de Mg que diferenciaram entre as camadas 0-0,10 e 0,20-0,30 m.

Entre as camadas avaliadas, em nenhum tratamento houve diferença para a acidez potencial.

A área de mata natural apresentou maior valor de V% ma camada superficial do solo. Os demais tratamentos não apresentaram diferença no valor de V% entre as camadas avaliadas. De modo geral, nas áreas cultivadas, os valores de V% ficaram próximos de 60, utilizado como recomendação de calagem para a cultura da soja (RAIJ, et al., 1997).

4.9. Produção da cultura da soja

Por se tratar de avaliações em áreas comerciais, onde foram semeados materiais com composição genética diferente, com épocas de semeaduras em datas distintas, a

comparação entre estes materiais fica prejudicada. Portanto, os dados são apresentados nos apêndices 1, 2, 3, 4, 5 e 6, porém nenhum comentário foi tecido.

4.10. Análise Multivariada

Para a camada de solo de 0-0,10 m, o dendrograma obtido pela análise de agrupamentos é apresentado na Figura 27.

As delimitações com base na análise visual do dendrograma foram feitas de acordo com os pontos de alta mudança de nível, ou seja, cada vez que se obtém uma variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, o que possibilita a divisão de grupos.

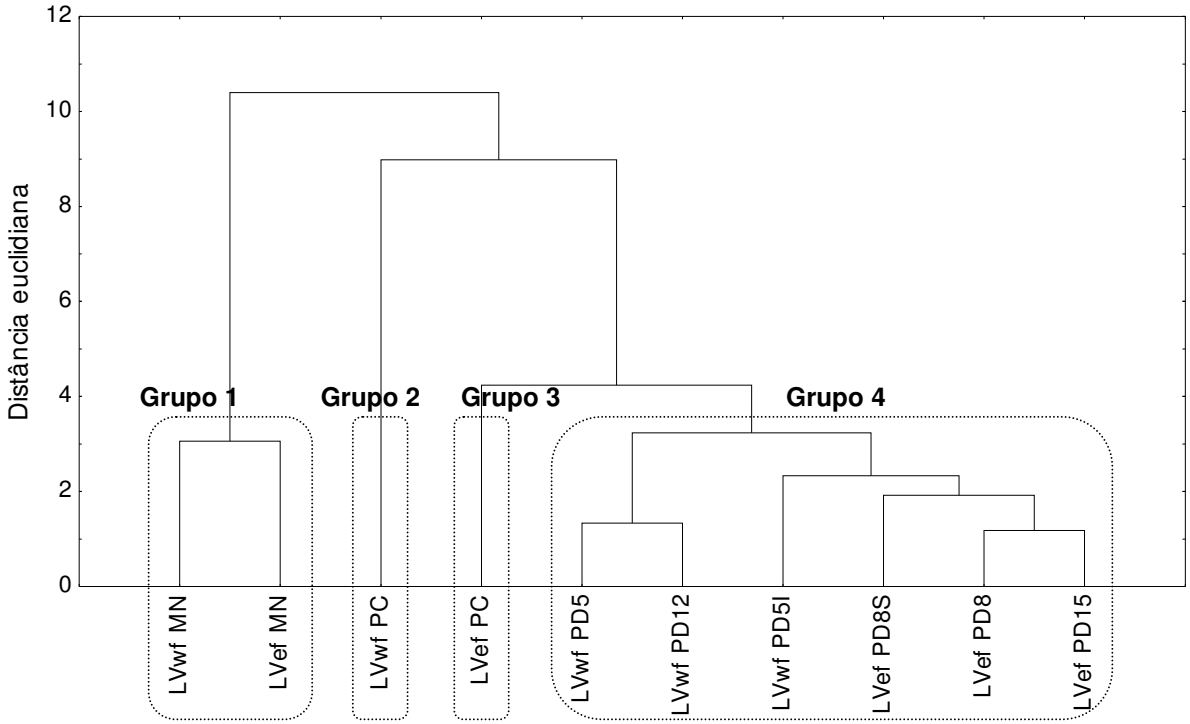

Figura 27. Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo os agregados > 2mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice S, porosidade total, macroporosidade, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica saturada, matéria orgânica e alumínio, para a os Latossolos (LVwf e LVef), na camada 0-0,10 m.

Considerando o valor de 3,3 de distância euclidiana para altura de corte do dendrograma, foi possível dividir os acessos (áreas/sistemas) em quatro grupos (grupos 1, 2, 3 e 4), levando-se em conta a contribuição conjunta das variáveis. Esta divisão mostrou que o grupo 1 é composto pelas áreas de mata natural, nos dois tipos de solo, o grupo 2, apesar de isolado, é representado pela área com preparo convencional no LVwf, o grupo 3 é formado somente pela área com preparo convencional no LVef e no grupo 4 ficaram concentradas as áreas onde emprega-se o sistema plantio direto, em todas as variações estudadas (solos, tempo de adoção, sucessão de culturas, irrigado, integração lavoura-pecuária).

O método de agrupamento *k-means* utilizado para confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica foi utilizado então considerando os quatro grupos descritos.

Tabela 17. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos, considerando-se a camada de 0-0,10 m.

Variáveis[1]	Soma de quadrados entre grupos	Graus de liberdade	Soma de quadrados dentro dos grupos	Graus de liberdade	Fc	Pr
Agreg	8,606713	3	0,393287	6	43,76814	0,000180
DMG	8,252510	3	0,747490	6	22,08059	0,001214
DMP	8,498631	3	0,501370	6	33,90167	0,000370
Índice S	7,894508	3	1,105492	6	14,28235	0,003862
Poros	6,332884	3	2,667116	6	4,74886	0,050174
Macro	8,348427	3	0,651573	6	25,62545	0,000807
RP	5,453143	3	3,546857	6	3,07492	0,112216
Kfs	7,610297	3	1,389703	6	10,95240	0,007572
MO	8,292081	3	0,707919	6	23,42663	0,001033
Al	5,641043	3	3,358957	6	3,35881	0,096382

[1] Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Al = alumínio.

Os grupos formados apresentaram os mesmos acessos, Grupo 1 (LVef MN, LVwf MN), Grupo 2 (LVwf PC), Grupo 3 (LVef PC) e Grupo 4 (PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15). Os resultados confirmaram a ordenação, e conforme análise de variância (Tabela 17), somente a RP e o Al não foram significativos nessa ordenação ($p > 0,05$), entretanto, foram mantidas na análise por apresentarem no máximo $p < 0,12$. As variáveis micro, P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V% foram retiradas das análises por não apresentarem diferença entre os grupos.

A Figura 28 mostra as médias padronizadas das propriedades físicas e químicas dos solos para cada grupo segundo análise de agrupamentos pelo método *k-means*. Observa-se que o grupo 1, que contém os acessos de mata natural, apresentou características já esperadas para a condição de solo sem ação antrópica, como maiores valores de agregados > 2 mm, DMG, DMP, Índice S, porosidade total, macroporosidade e infiltração de água e menor valor de RP. De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). À medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

Uma exceção encontrada para o grupo 1 (Matas) foi a MO, que ficou abaixo do valor encontrado para o grupo 2, composto pela área de preparo convencional no LVwf (LVwf PC). Era de se esperar menores valores de MO na área com preparo convencional do solo, principalmente em função da aceleração da decomposição causada pela incorporação dos restos culturais por ocasião do preparo do solo com arações e gradagens (ALBUQUERQUE et al., 2005). No entanto, o preparo do solo que antecedeu a coleta no LVwf foi efetuada apenas com uma gradagem leve e superficial, com posterior semeadura. Possivelmente, a pequena mobilização do solo e os resíduos da cultura anterior influenciaram na avaliação da MO. No entanto, essa MO não contribuiu para aumentar a estabilidade dos agregados. Além dos menores índices de agregação do solo, o LVwf PC (grupo 2) apresentou menores valores de macroporosidade e condutividade hidráulica saturada quando comparado com o LVef PC (grupo 3) e maiores valores de resistência do solo à penetração e alumínio, quando comparado as demais grupos. Já o grupo 4 ficou representado pelas áreas de plantio

direto, em ambos os solos. Observa-se que os índices de agregação ficaram próximos ao do grupo 1 (Matas) e bem superiores com relação aos grupos 2 e 3 (preparos convencionais). Entretanto, índice S, porosidade total, macroporosidade, Kfs e Al ficaram próximos ou menores dos valores encontrados para os grupos 2 e 3, confirmando o resultado das avaliações individuais de cada solo deste trabalho. Esses resultados se devem à menor mobilização do solo no SPD, associado a um aumento no tráfego de máquinas, implicando a coalescência dos agregados, e portanto, uma matriz mais densa (TORMENA et al., 2004).

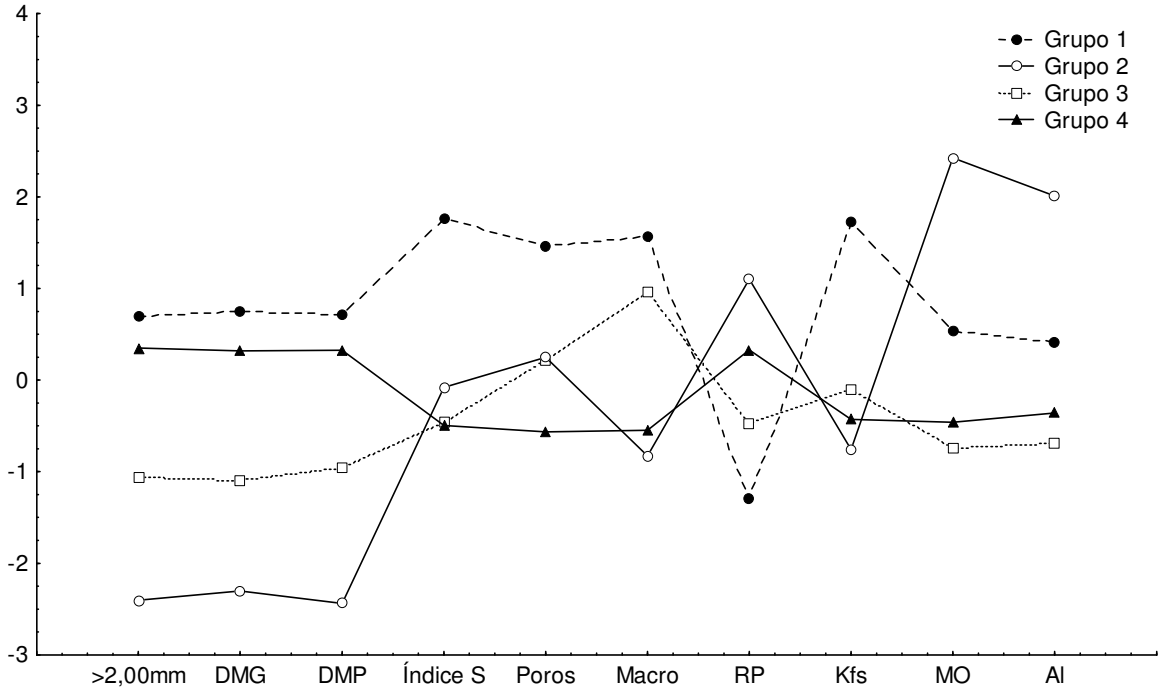

Figura 28. Médias padronizadas das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0-0,10 m. Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Poros = porosidade total, Macro = macroporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Al = alumínio.

Como já apresentado, as áreas de mata nativa, preparo convencional e sistema plantio direto foram agrupadas separadamente, no entanto, a contribuição de cada variável na separação de grupos não pode ser explicada pela análise de agrupamentos.

Portanto, utilizou-se a análise de componentes principais, a qual permitiu uma única distribuição dos acessos (componente principal - CP1 x componente principal - CP2), pois somente dois autovalores foram superiores a um: maior autovalor 4,497 (componente com melhor retenção da variabilidade original) e segundo maior autovalor 3,575 (componente com melhor retenção da variabilidade excluindo a variabilidade retida no primeiro componente), que possibilitou uma ordenação bidimensional dos acessos (manejos) e das variáveis (propriedades físicas e químicas), permitindo visualizar simultaneamente suas relações, por meio da construção do gráfico biplot contido na Figura 29.

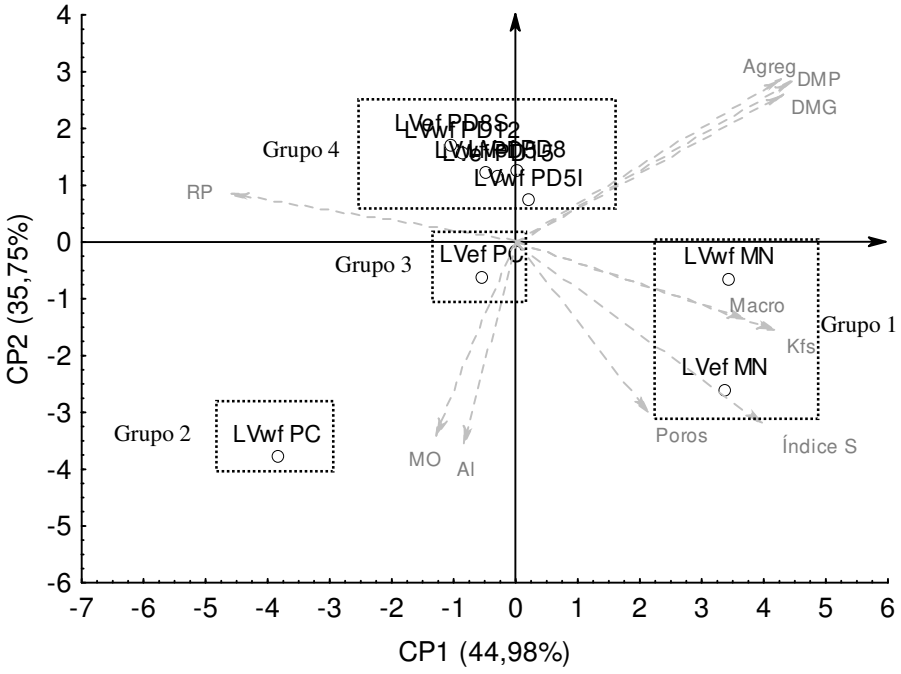

Figura 29. Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada de 0-0,10 m das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15). Em que: Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Al= alumínio.

A quantidade da informação total, das variáveis originais, retida pelos dois componentes principais foi de 80,73% [44,98% (primeiro componente principal) + 35,75% (segundo componente principal)] (Figura 29). A ordenação dos acessos

segundo os dois primeiros componentes principais confirma a ordenação dos acessos nos quatro grupos obtida pelas análises de agrupamentos, hierárquica e não hierárquica.

A representação gráfica e os índices de correlação das variáveis nos componentes principais permitem caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos grupos 1, 2, 3 e 4. As correlações com valores negativos no CP1, ou seja, à esquerda no gráfico, representam que, principalmente a RP (-0,796) é responsável pela discriminação dos grupos 2, 3 e 4, enquanto a Kfs (0,830), a macroporosidade (0,802), o índice S (0,745), o DMP (0,735), o DMG (0,725), os agregados com diâmetro > 2 mm (0,720) e a porosidade total (0,562), são responsáveis pela formação do grupo 1 (Matas), localizado à direita do CP1. Logo, pode-se inferir que as melhores condições estruturais apresentadas pelo grupo 1 (Matas) quando comparadas com o grupo 2 (LVw PC) permitiram claramente a formação de grupos isolados no gráfico, ficando, os grupos 3 (LVef PC) e 4 (áreas de plantio direto) em condições intermediárias para estes atributos. A RP possibilitou a divisão dos grupos 2, 3 e 4, mostrando que, o LVwf PC apresentou maior valor, em relação ao grupo das matas, ficando as áreas integrantes dos grupos 3 e 4 em situação intermediária. Não era esperado um alto valor de RP para a área com preparo convencional do solo, já que normalmente neste sistema há um revolvimento até pelo menos 0,20 m de profundidade, para controle das plantas invasoras, destruição de eventuais camada compactada e incorporação de corretivos, fertilizantes e restos culturais (ALVARENGA et al., 2002), no entanto, apesar de um histórico de mais de 20 anos de cultivo com arações e gradagens, o preparo do solo que antecedeu a coleta deste estudo foi feita com apenas uma gradagem leve superficial, o que pode ter proporcionado condições adversas. As características que mais influenciaram na distinção entre as áreas de mata e as demais são relacionadas às sucessivas adições naturais de material orgânico, que influenciam fortemente a agregação e a estruturação do solo (ASSIS e LANÇAS, 2005).

Com relação ao segundo componente principal (CP2), o Al (-0,790), a MO (-0,781), a porosidade total (-0,638) e o índice S (-0,594), discriminaram os grupos 1, 2 e 3, que ficaram abaixo do eixo do CP2, enquanto que os agregados com diâmetro > 2

mm (0,633), o DMP (0,631) e o DMG (0,609), discriminaram o grupo 4, situado acima do eixo do CP2 no gráfico da Figura 4.

Vários trabalhos encontraram melhores índices de agregação na camada superficial em áreas de plantio direto (CAMPOS et al., 1995; SILVA et al., 2000a; WENDLING et al., 2005) e os autores relacionam tal comportamento ao aumento da matéria orgânica. Os resultados deste trabalho sugerem que outros fatores inerentes aos sistemas ou solos podem estar atuando na agregação, já que houve baixo coeficiente de correlação da MO com o CP1 (Tabela 18) e no CP2, a MO não influenciou na discriminação do grupo 4 (plantios diretos), unidos em função dos índices de agregação.

Tabela 18. Correlação entre cada componente principal e as propriedades fisicas e quimicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos, para a camada de 0-0,10 m

Variáveis[1]	CP1[2]	CP2
Agreg	0,720	0,633
DMG	0,725	0,609
DMP	0,735	0,631
Índice S	0,745	-0,594
Poros	0,562	-0,638
Macro	0,802	-0,420
RP	-0,796	0,212
Kfs	0,830	-0,435
MO	-0,214	-0,781
Al	-0,176	-0,790

[1] Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Al = alumínio.
[2] CP1 = componente principal 1; CP2 = componente principal 2.

Para a camada de 0,10-0,20 m, o dendrograma obtido pela análise de agrupamentos é apresentado na Figura 30.

Considerando um valor de 4,5 de distância euclidiana para altura de corte do dendrograma e formação dos grupos, foi possível dividir os acessos (áreas/sistemas) em quatro grupos, levando-se em conta a contribuição conjunta das variáveis. Esta divisão mostrou que o grupo 1 é composto pelas áreas de mata natural, nos dois tipos

de solos, o grupo 2 é representado pela área com preparo convencional no LVwf, o grupo 3 é formado pela área com preparo convencional no LVef e pelas áreas com oito anos de plantio direto no LVef e no grupo 4 ficaram concentradas as áreas onde emprega-se o sistema plantio direto, em todas as variações estudadas no LVwf (tempo de adoção, irrigação, sucessão de culturas e integração lavoura-pecuária) e a área com 15 anos de sistema plantio direto no LVef.

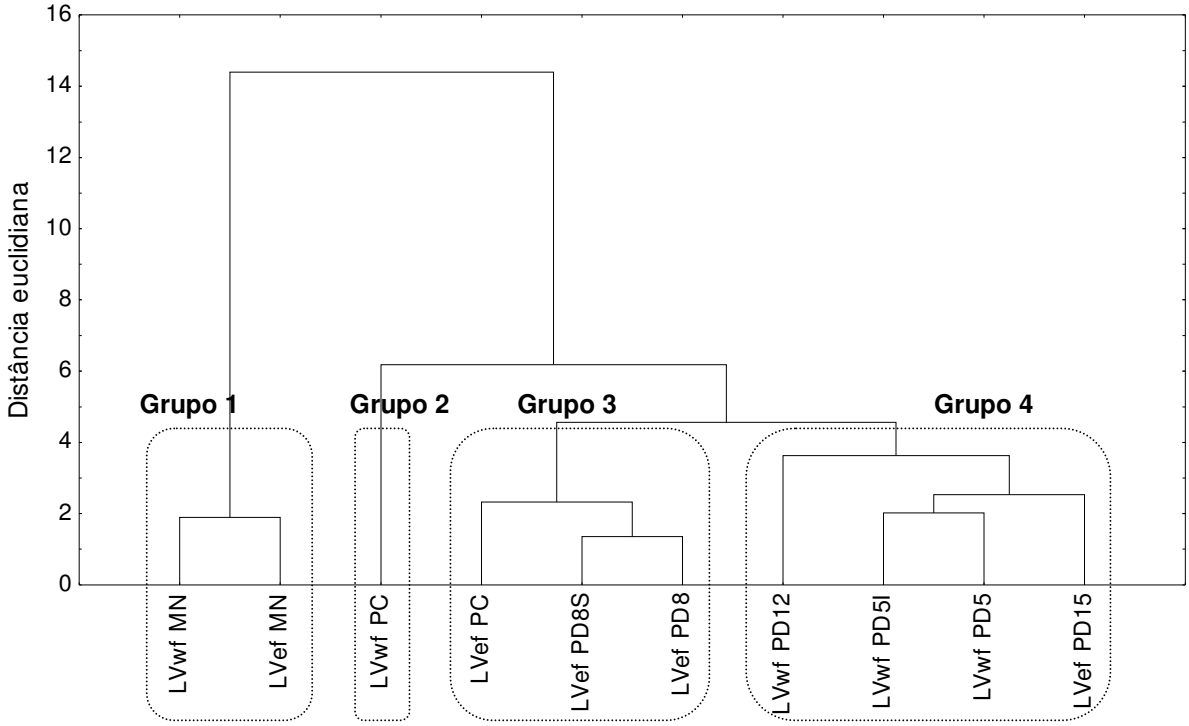

Figura 30. Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo os agregados > 2mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice S, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica saturada, matéria orgânica e magnésio, para a os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos na camada de 0,10-0,20 m.

O método de agrupamento *k-means,* utilizado para confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica, foi utilizado considerando os quatro grupos descritos. Os resultados confirmaram a separação em quatro grupos, contudo, alguns acessos ficaram em grupos diferentes dos apresentados pelo dendrograma. Apenas os grupos 3 e 4 apresentaram alterações, sendo que os acessos LVwf PD5 e

LVef PD15, que pelo dendrograma estavam no grupo 4, migraram para o grupo 3 na análise de agrupamento *K-means*. Nota-se que houve modificações apenas entre os sistemas plantio direto, o que não altera o resultado da análise do dendrograma. Por meio da análise de variância do *K-means* (Tabela 19), todas as propriedades avaliadas apresentaram diferenças estatística com uma probabilidade ≤ 0,08, contribuindo para separação dos grupos. As variáveis fósforo, pH, potássio, cálcio, H+Al, soma de bases, CTC, V% e alumínio não contribuíram na separação de grupos nessa camada (0,10-0,20 m) e por isso foram retiradas das análises.

Tabela 19. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para os Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos, considerando-se a camada de 0,10-0,20 m.

Variáveis[1]	Soma de quadrados entre grupos	Graus de liberdade	Soma de quadrados dentro dos grupos	Graus de liberdade	Fc	Pr
Agreg	6,468608	3	2,531392	6	5,11071	0,043211
DMG	6,368187	3	2,631813	6	4,83939	0,048300
DMP	5,912891	3	3,087109	6	3,83070	0,076011
Índice S	8,544859	3	0,455141	6	37,54818	0,000277
Poros	7,176495	3	1,823505	6	7,87110	0,016751
Macro	8,760312	3	0,239688	6	73,09765	0,000041
Micro	7,337059	3	1,662941	6	8,82419	0,012805
RP	8,195235	3	0,804765	6	20,36679	0,001511
Kfs	8,269539	3	0,730461	6	22,64197	0,001133
MO	8,173350	3	0,826650	6	19,77464	0,001636
Mg	6,714372	3	2,285628	6	5,87530	0,032222

[1] Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, Micro = microporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Mg = magnésio.

A figura 31 mostra as médias padronizadas das propriedades físicas e químicas dos solos para cada grupo segundo análise de agrupamentos pelo método *k-means*. Observa-se que o grupo 1, representado pelas áreas de mata natural, apresentou maiores índices de agregação, índice S, porosidade total, macroporosidade,

condutividade hidráulica saturada e menores valores de microporosidade e resistência do solo à penetração. Com relação a MO, as áreas de mata apresentaram menor teor que a área de LVwf PC (grupo 2), sendo o mesmo fato observado para a camada de 0 a 0,10 m.

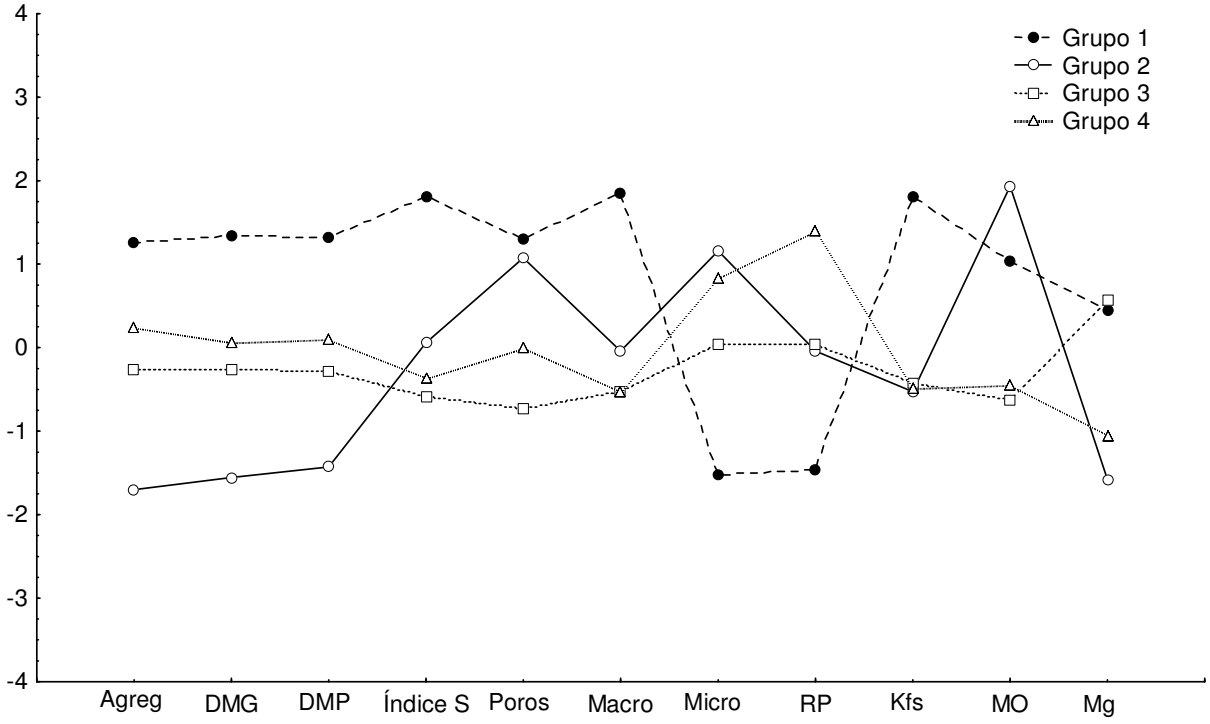

Figura 31. Médias padronizadas das propriedades físico-químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0,10-0,20 m. Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, Micro = microporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Mg = magnésio.

O grupo 2, composto apenas pela área de preparo convencional do LVwf, apresentou menores valores dos índices de agregação, e maior valor de porosidade total e MO, sendo estas variáveis responsáveis pela sua distinção dos demais grupos.

Os grupos 3 e 4 apresentaram características semelhantes, diferindo apenas com relação a microporosidade, RP e teor de magnésio. Logo, os sistemas de plantio direto (PD12, PD5I e PD5) conduzidos no LVwf e o PD15 conduzido no LVef, apresentaram maior compactação do solo na camada de 0,10 a 0,20 m, representada

pelas maiores microporosidade e RP. Esses resultados são reflexos do aumento da densidade do solo normalmente encontrado nesse sistema (STONE e SILVEIRA, 2001; ARGENTON et al., 2005). Ainda, no LVwf, o aumento no teor de MO, que poderia atuar na melhor estruturação do solo, minimizando esse efeito do aumento da densidade, não ocorreu. Já o LVef PD15, com o maior tempo de adoção do sistema plantio direto, possivelmente ficou contido no grupo 4 devido ao intenso tráfico de máquinas, o reduzido revolvimento do solo ao longo dos anos e a acomodação natural das partículas do solo (KLEIN e BOLLER, 1995).

O gráfico biplot de dispersão produzido pela análise de componentes principais é apresentado na Figura 32, sendo os autovalores de 6,522 e 2,555 para o CP1 e CP2, respectivamente. A quantidade da informação total, das variáveis originais, retida pelos dois componentes principais foi de 82,53% [59,30% (primeiro componente principal) + 23,23% (segundo componente principal)].

A ordenação dos acessos segundo os dois primeiros componentes principais confirma a ordenação dos acessos nos quatro grupos obtida pelas análises de agrupamentos, hierárquica e não hierárquica (Figura 32), sendo que os acessos contidos em cada grupo pela análise de componentes principais foram semelhantes à demonstrada no dendrograma.

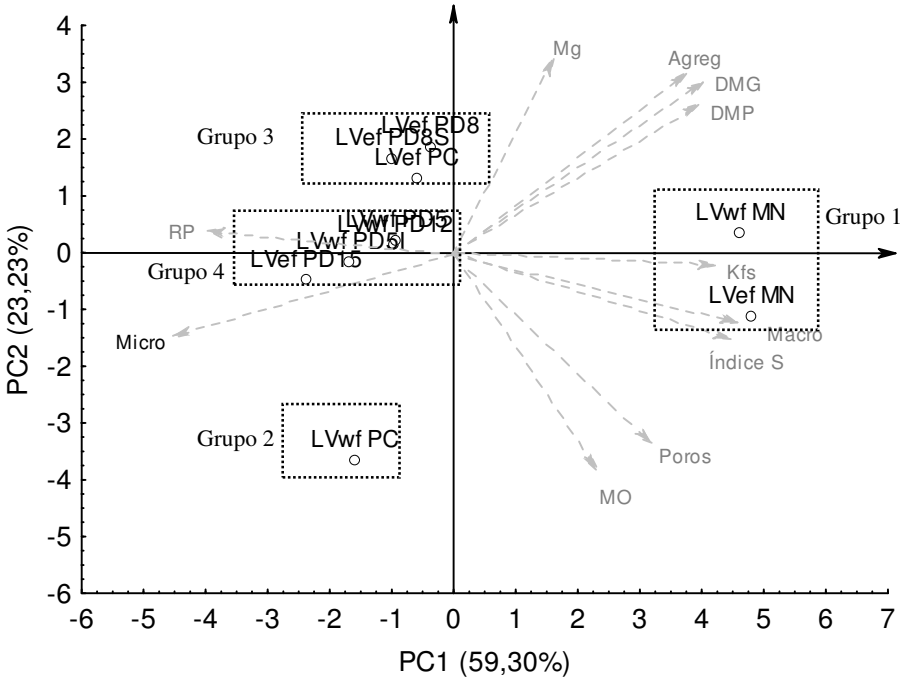

Figura 32. Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada de 0,10-0,20 m das propriedades físicas e químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15). Em que: Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, Micro = microporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Mg = magnésio.

As correlações com valores negativos no CP1 (Tabela 20), ou seja, à esquerda no gráfico, representam que a microporosidade (-0,802) e a RP (-0,776) são responsáveis pela discriminação dos grupos 2, 3 e 4, enquanto que os índices de agregação, o índice S, a porosidade total, macroporosidade e Kfs, todas com correlação positiva e maior que 0,760, são responsáveis pela formação do grupo 1, localizado à direita do CP1. Ou seja, as melhores condições estruturais apresentadas pelas áreas de mata permitiram o isolamento em grupo específico e as condições de configuração de maior compactação devido a maiores microporosidade e RP agrupar separadamente o LVwf PC, em função do pouco revolvimento do solo neste manejo, por ter sido efetuado somente com gradagem leve superficial, além de possível adensamento subsuperficial devido à ação do implemento nos anos anteriores.

Tabela 20. Correlação entre cada componente principal e as propriedades fisicas e quimicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes manejos, para a camada de 0,10-0,20 m.

Variáveis[1]	CP1[2]	CP2
Agreg	0,761	0,475
DMG	0,805	0,433
DMP	0,801	0,401
Índice S	0,919	-0,367
Poros	0,641	-0,685
Macro	0,949	-0,274
Micro	-0,802	-0,281
RP	-0,776	0,099
Kfs	0,943	-0,033
MO	0,472	-0,816
Mg	0,370	0,738

[1] Agreg = agregados com diâmetro > 2 mm, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Macro = macroporosidade, Micro = microporosidade, RP = resistência do solo à penetração, Kfs = condutividade hidráulica saturada, MO = matéria orgânica do solo e Mg = magnésio.
[2]CP1 = componente principal 1; CP2 = componente principal 2.

Com relação ao segundo componente principal (CP2), apenas a MO (-0,816) e a porosidade total (-0,685) conseguiram discriminar o grupo 2, enquanto o Mg (0,738) discriminou o grupo 3, situado acima do eixo do CP2, no gráfico da Figura 8. Assim, os maiores valores de MO e os menores de Mg encontrados para a área de preparo convencional no LVwf (Figura 7) foram confirmados no gráfico dos componentes principais, formando o grupo 2. Para o grupo 3, o agrupamento ocorreu na porção superior do gráfico, indicando o contrário, ou seja, foram juntados em função dos menores valores de MO e maiores de Mg, ficando os grupos 1 (Matas) e 4 (sistemas plantio direto), na porção gráfica que indica valores intermediários para estas características. O teor de Mg proporcionou o isolamento, na porção superior do gráfico, das áreas com maiores teores, da área com menor teor (LVwf PC), na porção inferior, ficando as demais áreas com teores intermediários.

Na camada de 0,20 a 0,30 m, o dendrograma da análise de agrupamentos (Figura 33) mostrou que, considerando um valor de 4 de distância euclidiana para altura de corte do dendrograma e formação dos grupos, foi possível dividir os acessos em três

diferentes grupos (grupos 1, 2 e 3), levando-se em conta a contribuição conjunta das variáveis.

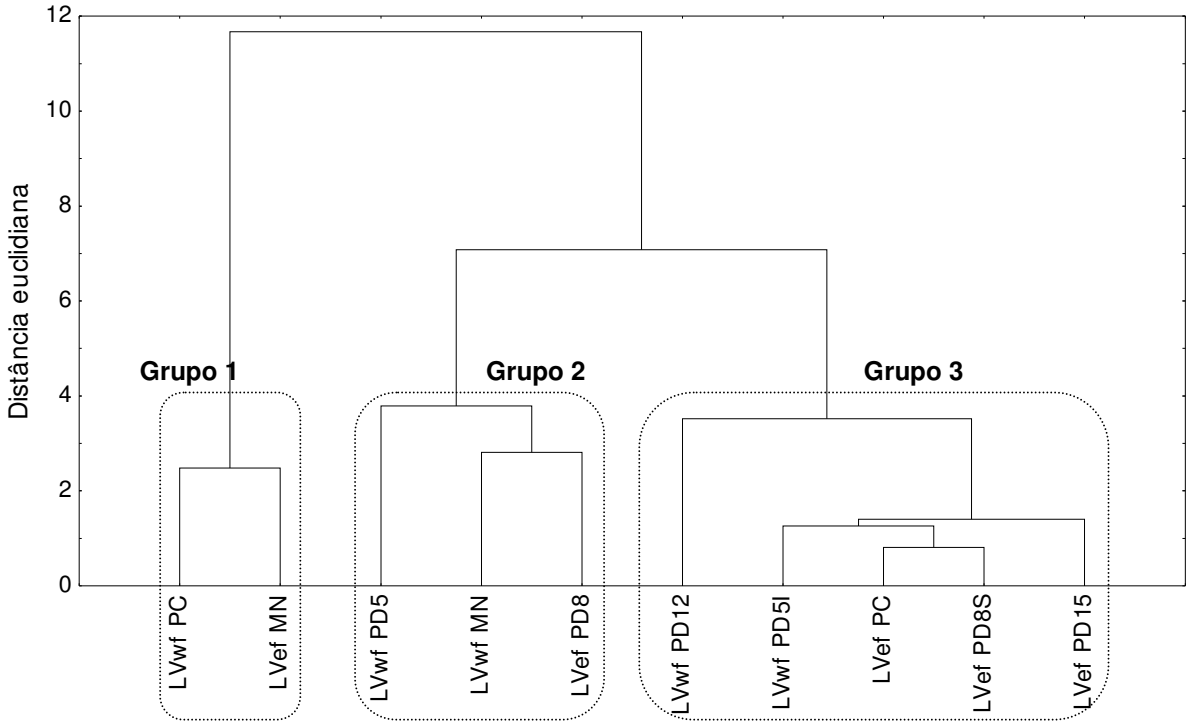

Figura 33. Dendrograma resultante da análise de agrupamentos hierárquica mostrando a formação de grupos segundo a matéria orgânica (MO), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca cationica (CTC), satuação de bases (V%) e alumínio (Al), para a camada de 0,20-0,30 m de Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos.

O grupo 1 é composto pelo preparo convencional no LVwf e pela área de mata natural do LVef. O grupo 2 é formado pelas áreas com sistema plantio direto de 5 anos no LVwf e de 8 anos no LVef, além da área de mata natural do LVwf. No grupo 3 ficaram ligadas as áreas com sistema plantio direto de 12 anos e de 5 anos com integração lavoura-pecuária no LVwf, de 15 anos e de 8 anos com sucessão de culturas no LVef, além da área com preparo convencional no LVef.

O método de agrupamento *k-means* utilizado para confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica foi utilizado considerando os três grupos descritos. Os resultados confirmaram essa ordenação e conforme a análise de variância

(Tabela 21), as propriedades MO, pH, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, V% e Al apresentaram diferenças estatística com uma probabilidade ≤ 0,08; contribuindo para separação dos grupos.

Tabela 21. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise de agrupamentos não hierárquica *k-means*, para a camada de 0,20-0,30 m de Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos.

Variáveis[1]	Soma de quadrados entre grupos	Graus de liberdade	Soma de quadrados dentro dos grupos	Graus de liberdade	Fc	Pr
MO	7,510545	2	1,489455	7	17,64868	0,001844
pH	5,424062	2	3,575938	7	5,30888	0,039538
Ca	7,482593	2	1,517407	7	17,25910	0,001968
Mg	5,475780	2	3,524220	7	5,43815	0,037573
H+Al	6,742671	2	2,257329	7	10,45455	0,007902
SB	7,677207	2	1,322793	7	20,31324	0,001217
CTC	4,784210	2	4,215790	7	3,97191	0,070344
V%	7,555919	2	1,444081	7	18,31318	0,001655
Al	6,663352	2	2,336648	7	9,98085	0,008917

[1] MO = matéria orgânica do solo, Ca = cálcio, Mg = magnésio, H+Al = acidez potencial, SB = soma de bases trocáveis, CTC = capacidade de troca catiônica, V% = saturação por bases e Al = Acidez trocável.

As variáveis porcentagem de agregados com diâmetro > 2 mm, DMP, DMG, índece S, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração e fósforo não contribuíram (p ≥ 0,08) para separação de grupos nessa camada (0,20-0,30 m) e por isso foram retiradas das análises. Logo, as condições físicas para camada de 0,20 a 0,30 m foram semelhantes entre os manejos e solos, justificando a semelhança entre mata, preparo convencional e plantio direto nos grupos formados nesta camada do solo.

A Figura 34 mostra as médias padronizadas das características químicas do solo para cada grupo segundo análise de agrupamentos pelo método *k-means*.

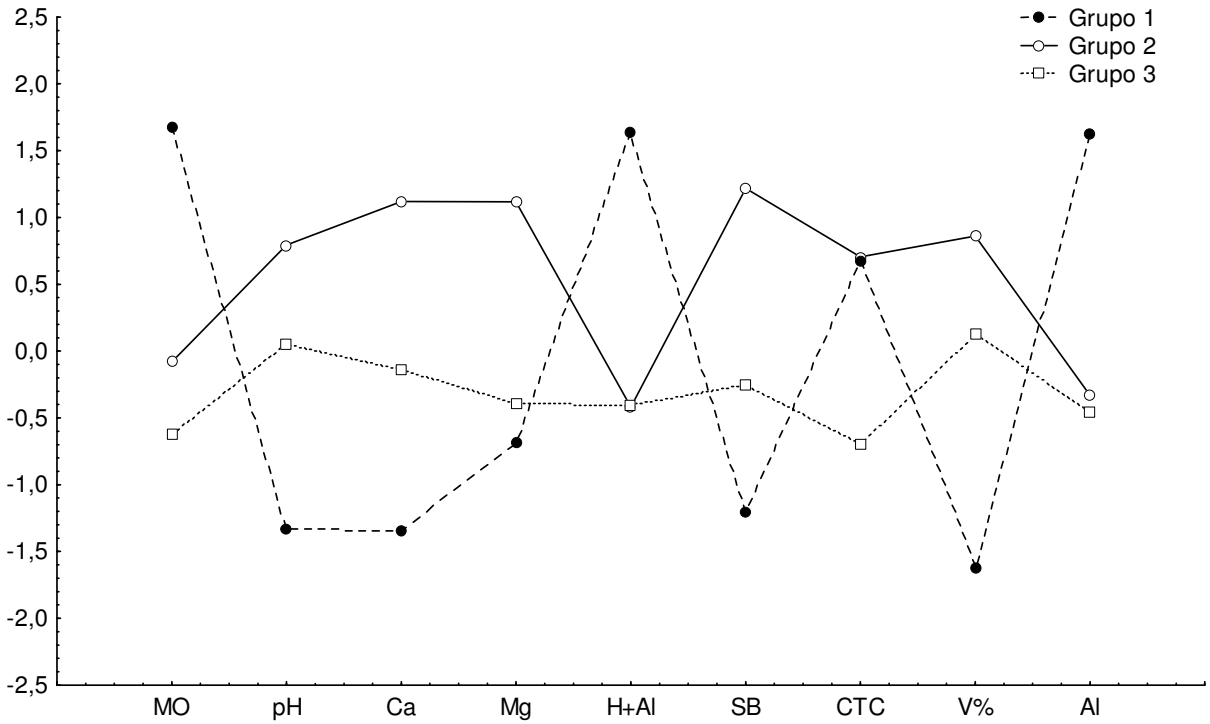

Figura 34. Médias padronizadas das propriedades químicas dos Latossolos submetidos a diferentes usos e manejos para cada grupo segundo análise de agrupamentos não hierárquica *k-means,* na camada de 0,20-0,30 m. MO = matéria orgânica do solo, Ca = cálcio, Mg = magnésio, H+Al = acidez potencial, SB = soma de bases trocáveis, CTC = capacidade de troca catiônica, V% = saturação por bases e Al = Acidez trocável.

O grupo 1 (LVwf PC e PVef MN) ficou caracterizado por apresentar maiores teores de MO, H+Al e Al e menores teores de Ca e Mg, e pH, SB e V%. O grupo 2 (LVwf PD5, LVef PD8 e LVwf MN) apresentou teor intermediário de MO e Al, e maiores pH, SB, V% e teores de Ca e Mg. Já o grupo 3 (LVwf PD12 e PD5I, LVef PD15, PD8S e PC) apresentou menor teor de MO, menor valor de CTC e teor de Al e valor intermediário de pH, SB e V%. Estes resultados mostram que não houve uma influência clara dos manejos nas propriedades químicas dos solos, já que as áreas de mata, plantio convencional e plantio direto se misturam nos grupos.

O gráfico biplot de dispersão produzido pela análise de componentes principais é apresentado na Figura 35. A quantidade da informação total, das variáveis originais, retida pelos dois componentes principais foi de 89,43% [65,49% (primeiro componente principal) + 23,94% (segundo componente principal)], sendo os autovalores de 6,522 e

2,555 para o CP1 e CP2, respectivamente. A ordenação dos acessos segundo os dois primeiros componentes principais confirma a ordenação dos acessos nos três grupos obtidos pelas análises de agrupamentos, hierárquica e não hierárquica.

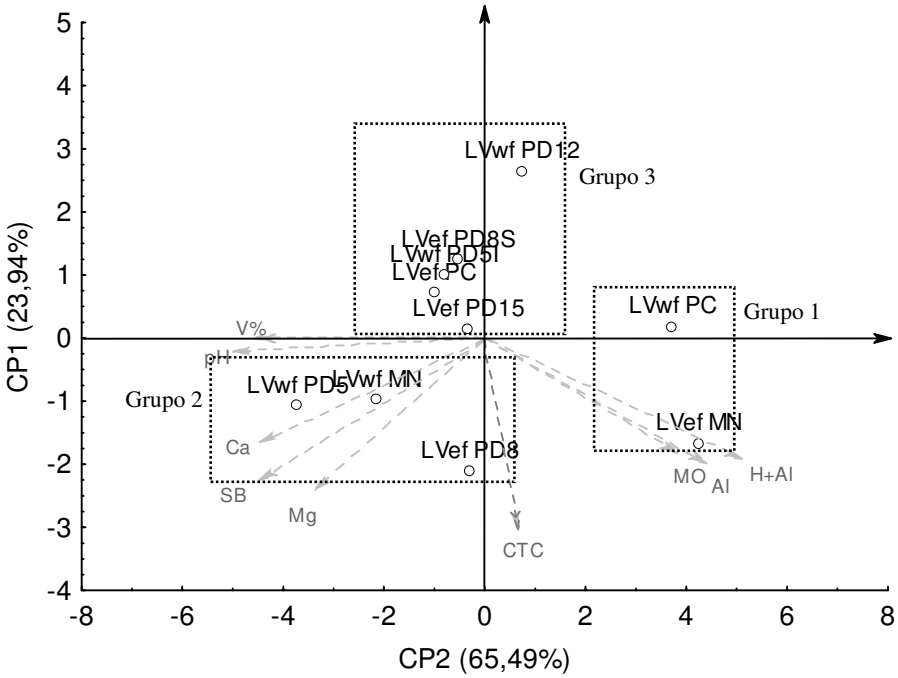

Figura 35. Dispersão (gráfico *biplot*) produzido por análise de componentes principais na camada de 0,20-0,30 m das propriedades químicas dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos (MN, PC, PD5, PD5I, PD8, PD8I, PD12 PD15). Em que: MO = matéria orgânica do solo, Ca = cálcio, Mg = magnésio, H+Al = acidez potencial, SB = soma de bases trocáveis, CTC = capacidade de troca catiônica, V% = saturação por bases e Al = Acidez trocável.

As correlações com valores positivos no CP1 (Tabela 22), ou seja, à direita no gráfico, representam que o Al (0,793) a MO (0,776) e o H+Al (0,897) são responsáveis pela discriminação do grupo 1, enquanto que o V% (-0,989), o pH (-0,938), Ca (-0,878), Mg (-0,690) e SB (-0,846), todos com correlação negativa, são responsáveis pela formação do grupo do grupo 2, localizados à esquerda do eixo do CP1, sendo que o CP1 não influenciou na separação do grupo 3.

Com relação ao segundo componente principal, a CTC (-0,947) foi a propriedade que possibilitou a discriminação do grupo 2, situado abaixo do eixo do CP2 no gráfico

da Figura 35, do grupo 3, localizado na parte alta do eixo do CP2, sendo que o CP2 não influenciou a separação do grupo 1, que ficou localizado no meio do eixo do CP2.

Tabela 22. Correlação entre cada componente principal e a matéria orgânica (MO), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), satuação por bases (V%) e alumínio (Al), para a camada de 0,20-0,30 m dos Latossolos (LVwf e LVef) submetidos a diferentes usos e manejos.

Variáveis	CP1	CP2
MO	0,776	-0,418
pH	-0,938	-0,011
Ca	-0,878	-0,387
Mg	-0,690	-0,561
H+Al	0,897	-0,404
SB	-0,846	-0,516
CTC	0,188	-0,947
V%	-0,989	-0,035
Al	0,793	-0,432

CP1 = componente principal 1; CP2 = componente principal 2.

A análise multivariada possibilitou a comparação de diferentes usos e manejos em duas regiões com solos distintos, através da avaliação integrada de 9 propriedades físicas e 11 propriedades químicas dos solos. O uso da análise de componentes principais permitiu, por meio dos gráficos, mostrar a influências das variáveis nos acessos (sistemas). Nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, a maior parte da informação (CP1, 44,98 – 59,30%) foi responsável pela caracterização da área de mata natural (maiores índices de agregação, índice S, porosidade, infiltração de água). A discriminação entre as áreas com sistema plantio direto e plantio convencional, foi possível através da observação da menor parte da variância total dos dados (CP2, 35,75% – 23,23%). Resultados semelhantes foram obtidos por SENA et al., 2002, estudando, em solos do município de Guaíra (SP), os efeitos do manejo nos parâmetros do solo através da análise multivariada.

Na camada superficial, que sofre maior influência do sistema plantio direto (DE MARIA et al., 1999; SECCO et al., 2004) e na camada arável do solo (0-0,20 m) as características físicas se destacaram quanto à discriminação dos diferentes manejos e

as características químicas foram mais relevantes na camada 0,20-0,30 m. Porém, não houve uma influência clara dos manejos nas propriedades químicas dos solos.

A formação de grupos compostos por áreas com usos, manejos e solos diferentes permitiu apurar que não houve influência da condição edafo-climática na distinção dos diferentes manejos dentro do SPD e nas áreas de mata.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Latossolo Vermelho acriférrico típico (LVwf):

O cultivo do solo promoveu degradação da qualidade física do solo, em relação à condição de mata natural.

O sistema plantio direto não contribuiu para um acúmulo de matéria orgânica, nem para o acréscimo da fertilidade do solo. Promoveu maiores valores de densidade, microporosidade; e porosidade total, e apresentou maiores índices de agregação do solo em comparação com o preparo convencional.

O tempo de adoção do sistema plantio direto/irrigação melhoraram a agregação e a condutividade hidráulica do solo, no entanto, diminuiram a macroporosidade.

Não houve efeito da utilização da integração lavoura-pecuária na agregação do solo, na condutividade hidráulica e na resistência a penetração do solo, no entanto, houve um aumento na macroporosidade e porosidade total do solo.

O índice S mostrou variação em função dos sistemas e foi sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo.

No Latossol Vermelho Eutroférrico típico (LVef):

O cultivo do solo reduziu a qualidade do solo quando comparado à condição de solo natural.

O sistema plantio direto promoveu maior teor de matéria orgânica e agregação, do solo, menores macroporosidade, porosidade total e infiltração de água, além de maiores teores de fósforo e potássio na camada 0-0,10m, em comparação com o preparo convencional.

O tempo de adoção do sistema plantio direto não incrementou o teor de matéria orgânica e diminuiu a fertilidade do solo. Promoveu diminuição da qualidade física do solo na camada 0,10-0,30 m.

A utilização da rotação de culturas promoveu melhoria no teor de matéria orgânica e na qualidade física do solo na camada 0,20-0,30 m.

O índice S mostrou variação em função dos sistemas e foi superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo apenas na camada 0-0,10 m.

6. CONCLUSÕES

Não houve diferença entre os ambientes na discriminação dos manejos dentro do sistema plantio direto e da mata natural.

O sistema plantio direto, independente do tipo de solo e do manejo adotado dentro do sistema, proporcionou aumento nos índices de agregação do solo, quando comparados às áreas de preparo convencional, sendo estas alterações mais evidentes na camada 0-0,10 m.

As características do solo mais correlacionadas com as alterações nos sistemas estudados foram: a porcentagem de agregados > 2 mm, o diâmetro médio geométrico, o diâmetro médio ponderado, o índice S, a macroporosidade, a microporosidade, a resistência do solo à penetração e a condutividade hidráulica saturada, sobretudo na camada 0-0,20 m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistema de preparo de plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 29, p. 415-424, 2005.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 321-326, 1994.

ALMEIDA, J. A. A.; BERTIL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 437-445, 2005.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. **Cultivo do milho**: preparo convencional do solo. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico 40).

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.

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

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; WATANABE, S. H.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MATA, J. D. V. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um Latossolo Vermelho distrófico do Noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 4, p. 1045-1053, 2000.

ARAUJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 389-396, 1993.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 425-435, 2005.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN. J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (SSSA Special Publication. 49).

ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. A Model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 20, p. 319-332, 1991.

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em Latossolo Roxo distrófico**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990. 259p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

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

BARBER, R. G.; ORELLNAN, M.; NAVARRO, F.; DIAZ, O; SORUCO, M. A. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. Soil and Tillage Research, Madison, v.38, p. 133-152, 1996.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Métodos de análises químicas de plantas. **Boletim do Instituto Agronômico**, Campinas, n. 78, p. 1-48, 1983.

BATISTA, J. L. M. **Análise multivariada no planejamento de extensão florestal:** subsídios para uma política de recuperação de áreas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990. 137p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais).

BEEBE, K.R.; PELL, R.J.; SEASHOLT, M.B.. **Chemometrics:** A practical guide. New York: John Wiley e Sons, 1998. 348p.

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

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

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, nov-dez, 2004.

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

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

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 829-834, 2002.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis:** physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 377-382.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GREEGORICH, E. G.; CARTER, M. R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 79, p. 37-45, 1999.

BOONE, F.R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 283-324, 1988.

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 1019-1025, 1999.

BRADFORD, J. M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 601-606, 1980.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soils**. New Jersey. Ed Prentice Hall, 2002. 1000p.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI. R,; RUEDELL, J.; PETRERE, C. 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,** Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.

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

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

CARTER, M.R., GREGORICH, E. G., ANDERSO, D. W., DORAN, J. W., JANZEN, H. H. and PIERCE, F. J. Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G., and M.R. CARTER (eds.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elservier Science, 1997. p. 1-20.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função

de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.527-38, 1998.

CASTRO, L. M.; COSTA, A. R.; SANTOS, J. L. S.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração do solo em sistema de integração lavoura-pecuária no cerrado. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2, 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Cientifica.** Goiânia: UFG, 2005. 1 CD-ROM.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

CASTRO, O. M.; CAMARGO, O. A.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; CANTARELLA, H. **Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 23p. (Boletim Científico, 11).

CASTRO, O. M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J. A.; DE MARIA, I. C.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 10, p. 293-297, 1986.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; DE MARIA, I. C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, **Anais...** 1987. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.27-51.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M., BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 997-1003, 1999.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS – CIIAGRO. Disponível em <http\\www.ciiagro.sp.gov.br>. Acesso em 15/07/06.

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

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração

argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 199-209, 2007.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity human life**.** In: LAL, R. (ed.).**Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 428-431.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; VOLK, L. B. Indicadores de qualidade do solo: uma abordagem conceitural ilustrativa com ênfase nos aspectos de erosão hídrica e de mecanização tratorizada. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, Santa Maria, 2004. **Palestras...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNCIA INTEGRAL - CATI. **Conquistas do programa estadual de microbacias hidrográficas.** Disponível em <http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_projetos/pemh/conquistas.php>. Acesso em: 04/03/08.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.241-247, 1997.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. de. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 17, p. 471-477, 1993.

DE MARIA, I. C.; DUARTE, A. P.; CECCON, G. Plantio direto no Médio Paranapanema. **O Agronômico**, Campinas, v. 56, p. 22-26, 2004.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, p. 71-79, 1999.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Pesquisa de desenvolvimento em sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de janeiro, 1997. 1 CD ROM.

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

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

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

DEXTER, A. R.; YOUNGS, I. M. Soil physic toward 2000. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 24, p. 101-106, 1992.

DORAN, J. W., SARRANTONIO, M. and LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 1-54, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Área de plantio direto no Brasil. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>. Acesso em: 05/02/08.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogiada fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 507-514, 1999.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região Noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, Maringá, v. 19, n. 3, p. 853-861, 1997.

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

FREIRE, J. C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo em um Latossolo Roxo distrófico não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 73-77, 1979.

FREITAS, P. L. Manejo físico do solo. In: COSTA, C. V.; BORGES, L. C. V. (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 117-139.

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

GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-897, 1980.

GILMOUR, J.T.; MAUROMOUSTAKOS, A.; GALE, P,.M.; NORMAN, R.J. Kinetics of crop residue decomposition: variability among crops and years. **Soil Science Society of American Journal,** Madison, 62: 750-755, 1998.

GÓES, G. B.; GREGGIO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 116-122, 2005.

GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R. (ed.).**Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.1058-1061.

GROBE, J. R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia).

HAIR, J.F, ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L.; BLACK, W. **Análise Multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 595 p.

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

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

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the enviroment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 23-36, 1995.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, Madison, v. 152, p. 463-471, 1991.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva e resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Massachussetts, v. 23, n. 1, p. 187-200, 1958.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965. pt.1, cap. 39, p. 499-510. (Agronomy, 9).

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 395-398, 1995.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 395-401, 1995.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 635-662.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa:** Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. Environ. Sci. Pollut., 2:177-185, 1999.

LANTMANN, A. F. Manejo de fósforo e potássio para a soja em plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1, Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p.137-145.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 265-286. (Developments in Agricultural Engineering, 2).

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; MEDEIROS, J. F. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas em função de doses de vermicomposto. **CAATINGA**, Mossoró, v. 18, n. 3, p. 195-199, 2005.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006, 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M.; DEXTER, A.R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição de sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 369-374, 1991.

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

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**. Ensaios de Laboratório. São Carlos, EESC-USP, 1998. 248p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 327-336, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo:** quadrícula de Guaíra**.** Campinas: Instituto Agronômico, 1994.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 9-14, 2005.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico / Fundação IAC, 1997. 285p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Ed.). **Methods of soil analysis**: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia,** Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. ; DICK, W. ; LAL, R. ; VENSKE FILHO, S. P. ; PICCOLO, M. ; FEIGL, B. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 1486-1499. 2001.

SAAD, A. M. **Apoio à agricultura irrigada do município de Guaíra – São Paulo**. São Paulo, IPT, 1987. 59p. (IPT n.1746).

SALET, R. L Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 1994. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

SANCHEZ, P. A. **Suelos del trópico**: características y manejo. San José, Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 645p.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS user's guide.** Cary, 1999. 595p.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 407-414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SENA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 67 p. 171-181, 2002.

SILVA, A. P. Integração manejo x física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, Santa Maria, 2004. **Palestras...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

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

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 505-515, 2002.

SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1487-1494, 2002.

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

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 16, p. 397-402, 1992.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 795-801, 2000c.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000b.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy;** the principles and practice of numerical classification. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo***,* Viçosa, v. 28, p. 533-542, 2004.

STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 7, 2004. Disponível em: <http://www.statsoft.com>. Aceso em: 15/05/2006.

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

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR-STOLF: Recomendação para seu uso. **STAB,** Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 18-23, 1983.

STONE, L. F.; BALBINO, L. C.; CUNHA, E. Q. Índice S como indicador da qualidade física do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 34, 2005. Canoas. **Resumos...** Canoas: Sociedade Brasileira Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubacão e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 533-539, 1994.

TAYLOR, H.; GARDNER, H. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength. **Soil Science**, Baltimore, v. 96, n. 3, p. 153-156, 1963.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TEIXEIRA, C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. da. Resistência mecânica à penetração de um Argissolo Amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1165-1167, 2003.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

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

VARQUEZ, L.; MYHRE, D.L.; GALLAHER, R.N.; HANLON, E.A.; PORTIER, K.M. Soil compaction associated with tillage treatments for soybean. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 13, p. 35-45, 1989.

VEEN, B.W.; van NOORDWIJD, M.; DE WILLIGEN, P.; BOONE, F.R.; KOOISTRA, M.J. Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. Plant and Soil, Dordrecht, v.139, p. 131-138, 1992.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.4, p.242-246, 1961.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H.; RANDALL, G. W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 25, p. 17- 23, 1992.

XU, X.; NIEBER, J.L.; GUPTA, S.C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1743-1750, 1992.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, p. 337-351, 1936.

APÊNDICES

Apêndice 1. Teores dos macronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVwf[1]

Tratamento[2]	N	P	K	Ca	Mg	S
			g kg^{-1}			
PD12	47,5 a	2,3 c	11,7 c	9,0 a	2,4 d	2,6 b
PD8	50,7 a	2,9 b	15,2 b	7,9 b	4,4 a	2,9 a
PD8I	46,7 a	2,4 c	17,1 b	7,7 b	3,3 c	2,9 a
PC	49,3 a	3,3 a	19,6 a	8,2 ab	3,9 b	3,0 a
CV%	5,27	7,24	7,47	6,31	8,46	4,42

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); [2] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 2. Teores dos micronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVwf

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg^{-1}		
PD12	43,0 bc	6,5 a	101,2 ab	62,17 b	36,0 ab
PD8	45,7 b	5,8 a	104,3 a	58,3 b	27,7 b
PD8I	34,3 c	7,8 a	89,5 b	80,7 a	40,3 a
PC	63,0 a	4,8 a	92,7 ab	55,8 b	30,5 ab
CV%	13,85	29,93	8,15	8,85	18,85

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); [2] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 3. Características agronômicas da cultura da soja em função dos sistemas no LVwf

Tratamento	Altura da planta	Altura da vagem	Número de vagens	População	Produção
	------- cm -------			plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
PD12	56,6 d	11,9 c	45 a	353.200 b	4063 a
PD8	68,8 c	14,5 b	30 b	442.300 a	2763 c
PD8I	87,4 a	23,6 a	38 a	289.100 c	3589 ab
PC	76,1 b	14,9 b	42 a	441.300 a	3331 b
CV%	4,75	9,36	11,80	4,64	6,83

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 4. Teores dos macronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVef(1)

Tratamento(2)	N	P	K	Ca	Mg	S
		---------- g kg^{-1} ----------				
PD15	48,3 b	2,7 ab	14,7 a	9,5 b	2,5 b	2,3 b
PD8	50,9 a	2,9 a	15,3 a	9,3 b	2,5 b	2,4 a
PD8S	45,5 c	2,9 a	14,1 a	9,1 b	3,8 a	2,2 b
PC	44,3 c	2,6 b	10,6 b	12,3 a	3,5 a	2,1 b
CV%	2,65	5,78	10,90	6,03	9,52	3,79

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

Apêndice 5. Teores dos micronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVef

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	---------- mg kg^{-1} ----------				
PD15	52,8 b	8,7 ab	159,5 a	102,8 b	52,7 b
PD8	42,5 c	9,5 a	145,2 ab	92,5 b	73,0 a
PD8S	64,5 a	9,0 a	117,5 b	99,7 b	53,0 b
PC	56,2 ab	7,5 b	164,1 a	129,7 a	48,7 b
CV%	11,34	8,16	11,45	9,88	10,92

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

Apêndice 6. Características agronômicas da cultura da soja em função dos sistemas de manejo no LVef

Tratamento	Altura da planta	Altura da vagem	Número de vagens	População	Produção
	------- cm -------		vagens $planta^{-1}$	plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
PD15	62,0 b	14,2 ab	39 b	341.100 bc	2720 b
PD8	69,5 b	11,5 b	72 a	368.280 b	3494 a
PD8S	65,4 b	17,1 a	27 c	418.000 a	2720 b
PC	84,9 a	15,6 a	38 bc	319.700 c	2103 c
CV%	7,87	13,70	16,90	7,37	9,54

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

APÊNDICES

Apêndice 1. Teores dos macronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVwf[1]

Tratamento[2]	N	P	K	Ca	Mg	S
			g kg^{-1}			
PD12	47,5 a	2,3 c	11,7 c	9,0 a	2,4 d	2,6 b
PD8	50,7 a	2,9 b	15,2 b	7,9 b	4,4 a	2,9 a
PD8I	46,7 a	2,4 c	17,1 b	7,7 b	3,3 c	2,9 a
PC	49,3 a	3,3 a	19,6 a	8,2 ab	3,9 b	3,0 a
CV%	5,27	7,24	7,47	6,31	8,46	4,42

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); [2] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 2. Teores dos micronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVwf

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg^{-1}		
PD12	43,0 bc	6,5 a	101,2 ab	62,17 b	36,0 ab
PD8	45,7 b	5,8 a	104,3 a	58,3 b	27,7 b
PD8I	34,3 c	7,8 a	89,5 b	80,7 a	40,3 a
PC	63,0 a	4,8 a	92,7 ab	55,8 b	30,5 ab
CV%	13,85	29,93	8,15	8,85	18,85

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); [2] PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 3. Características agronômicas da cultura da soja em função dos sistemas no LVwf

Tratamento	Altura da planta	Altura da vagem	Número de vagens	População	Produção
	------- cm -------			plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
PD12	56,6 d	11,9 c	45 a	353.200 b	4063 a
PD8	68,8 c	14,5 b	30 b	442.300 a	2763 c
PD8I	87,4 a	23,6 a	38 a	289.100 c	3589 ab
PC	76,1 b	14,9 b	42 a	441.300 a	3331 b
CV%	4,75	9,36	11,80	4,64	6,83

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD12: plantio direto há 12 anos, irrigado; PD8: plantio direto há 5 anos, sequeiro; PD5I: plantio direto há 5 anos, com 2 anos de integração lavoura-pecuária; PC: plantio convencional a mais de 20 anos.

Apêndice 4. Teores dos macronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVef(1)

Tratamento(2)	N	P	K	Ca	Mg	S
		---------- g kg^{-1} ----------				
PD15	48,3 b	2,7 ab	14,7 a	9,5 b	2,5 b	2,3 b
PD8	50,9 a	2,9 a	15,3 a	9,3 b	2,5 b	2,4 a
PD8S	45,5 c	2,9 a	14,1 a	9,1 b	3,8 a	2,2 b
PC	44,3 c	2,6 b	10,6 b	12,3 a	3,5 a	2,1 b
CV%	2,65	5,78	10,90	6,03	9,52	3,79

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

Apêndice 5. Teores dos micronutrientes foliares na floração da soja em função dos sistemas de manejo no LVef

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	---------- mg kg^{-1} ----------				
PD15	52,8 b	8,7 ab	159,5 a	102,8 b	52,7 b
PD8	42,5 c	9,5 a	145,2 ab	92,5 b	73,0 a
PD8S	64,5 a	9,0 a	117,5 b	99,7 b	53,0 b
PC	56,2 ab	7,5 b	164,1 a	129,7 a	48,7 b
CV%	11,34	8,16	11,45	9,88	10,92

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

Apêndice 6. Características agronômicas da cultura da soja em função dos sistemas de manejo no LVef

Tratamento	Altura da planta	Altura da vagem	Número de vagens	População	Produção
	------- cm -------		vagens $planta^{-1}$	plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
PD15	62,0 b	14,2 ab	39 b	341.100 bc	2720 b
PD8	69,5 b	11,5 b	72 a	368.280 b	3494 a
PD8S	65,4 b	17,1 a	27 c	418.000 a	2720 b
PC	84,9 a	15,6 a	38 bc	319.700 c	2103 c
CV%	7,87	13,70	16,90	7,37	9,54

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (2) PD15: plantio direto há 15 anos, com rotação de culturas; PD8: plantio direto há 8 anos, com rotação de culturas; PD8S: plantio direto há 8 anos, com sucessão de culturas; PC: plantio convencional há mais de 20 anos.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo