

JULIO CEZAR FRANCHINI SANTOS

COMPORTAMENTO DE PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DE DOIS
LATOSSOLOS ROXOS SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS
EM PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS
1993

**COMPORTAMENTO DE PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DE DOIS
LATOSSOLOS ROXOS SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM
PLANTIO DIRETO**

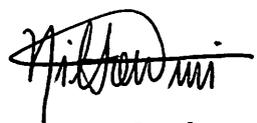
APROVADA:



Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira
Orientador



Dr. Clóvis Manuel Borkert



Prof. Dr. Nilton Curi



Dr. Odilon Ferreira Saraiva

1993

*Aos meus pais, Adélio e Júlia,
que mesmo com sacrifício,
investiram na educação de seus filhos
por acreditarem ser essa a maior
herança que podem lhes deixar,
aos meus irmãos Sônia, Celly e Paulo
e Mariangela Hungria, minha companheira*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, particularmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja), particularmente ao pesquisador Celso de Almeida Gaudêncio por permitir que este trabalho fosse desenvolvido nos experimentos sob sua responsabilidade, como parte do convênio de cooperação técnica firmado entre a ESAL e a EMBRAPA.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. Mozart Martins Ferreira e ao Dr. Clóvis Manoel Borkert, que além da orientação e amizade, não mediram esforços para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao professor Dr. Valdemar Faquin pelo desprendimento e amizade.

Ao professor Dr. Nilton Curi e Dr. Odilon Ferreira Saraiva pelas sugestões para melhoria do trabalho.

Aos químicos Nelson Avila Simão, Nestor Rioti Miura e Moisés de Aquino, pela colaboração na adaptação das metodologias de análise química.

Ao Ozael, Mariluci, Juninho, Tiba, Fabinho, Rinaldo, Val, Zuca, Rubson, Ademir e Jorge pela presteza e colaboração nos trabalhos de Campo e Laboratório, sem as quais este trabalho não teria êxito.

Aos amigos Clóvis, Lau, Niltinho, Mariangela e Zé Pereira pela experiência de vida e solidariedade.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Alterações nas propriedades físicas do solo	03
2.1.1. Relações de massa e volume	04
2.1.2. Propriedades hidráulicas	07
2.1.3. Estabilidade estrutural	10
2.2. Alterações nas propriedades químicas do solo	15
2.2.1. Carbono e nitrogênio	15
2.2.2. Efeitos sobre a capacidade de troca catiônica do solo	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Localização e caracterização da área experimental	23
3.2. Delineamento experimental e seleção dos tratamentos ..	25
3.3. Condução do experimento	28
3.4. Amostragens de solo	31
3.5. Análises físicas	32
3.6. Análises químicas	34
3.7. Análise estatística	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Alterações nas propriedades físicas do solo	36
4.1.1. Relações de massa e volume	36

4.1.2. Efeitos sobre o espaço poroso e condutividade hidráulica saturada	44
4.1.3. Efeito dos sistemas de rotação de culturas sobre a estabilidade de agregados do solo	49
4.1.3.1. Relação dos teores de C-orgânico e N-total no solo e nos agregados > 4,00 mm com a estabilidade de agregados do solo	53
4.1.3.2. Relação do pH e das concentrações de Al, H+Al e Ca com a estabilidade de agregados do solo	56
4.2. Alterações na capacidade de troca catiônica, pH e teores de C-orgânico e N-total	63
4.2.1. C-orgânico e N-total	63
4.2.2. CTC efetiva e pH	68
4.2.3. CTC a pH 7,0	70
4.3. Efeito dos sistemas de rotação de culturas na produção de grãos de trigo	71
5. CONCLUSÕES	78
6. RESUMO	80
7. SUMMARY	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
APÊNDICE	98

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
01	Esquema de campo e tratamentos	26
02	Relação entre o teor de C-orgânico e a densidade do solo (Ds) na camada de 0-5 cm, em Campo Mourão (A) e Londrina (B)	42
03	Relação da densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP) com a condutividade hidráulica saturada (Ks) em Londrina, Paraná	46
04	Relação da densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP) com a condutividade hidráulica saturada (Ks) em Campo Mourão, Paraná	47
05	Relação entre a CTC a pH 7,0 e o teor de C-orgânico em 100g de argila, na camada de 0-10 cm, em Campo Mourão (A) e Londrina (B)	72

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
01	Características climáticas dos locais estudados 24
02	Características dos solos antes da implantação dos experimentos (0-20cm) 24
03	Sequência de culturas e método de cultivo nos diferentes sistemas de rotação de culturas avaliados 29
04	Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e condutividade hidráulica saturada (Ks), em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina, Paraná 37
05	Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e condutividade hidráulica saturada (Ks), em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Campo Mourão, Paraná 38
06	Distribuição percentual de agregados e diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná 50
07	Teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4.00 mm, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná 55
08	Coeficientes de correlação simples entre os teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm e o diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná 56
09	Valores de pH, Al, H+Al e Ca, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná 57

10	Coefficientes de correlação simples entre os parâmetros químicos pH, Al, H+Al e Ca, com o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná	59
11	Valores de pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina, Paraná	64
12	Valores de pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Campo Mourão, Paraná	65
13	Coefficientes de correlação simples entre os parâmetros químicos, pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná	69
14	Produção de grãos de trigo, safra 1992, em Londrina e Campo Mourao, Paraná	73
15	Correlação simples entre parâmetros químicos, na camada de 0-40 cm e o DMG (Diâmetro Médio Geométrico), na camada de 0-10 cm, com a produção de grãos de trigo, safra 1992, em Londrina e Campo Mourão, Paraná	75

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais e subtropicais com cultivo contínuo, o decréscimo na produtividade do solo tem sido atribuído à erosão e redução nos níveis de matéria orgânica, principal responsável pela capacidade de troca de cátions destes solos.

A erosão do solo constitui-se num dos maiores problemas da agricultura paranaense. A rápida evolução das áreas mecanizadas na década de 70 acelerou o processo erosivo, visto que, em grande parte destas áreas, a mecanização é feita de forma empírica, principalmente no que se refere ao tipo, intensidade e condições de uso de máquinas e implementos.

A partir de 1975, intensificou-se o interesse pelo plantio direto devido à reduzida manipulação mecânica e à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, que reconhecidamente contribuem para o controle da erosão. Após sua viabilização como técnica de conservação e melhoria da capacidade produtiva do solo, interesse crescente tem sido dispensado ao estudo do efeito da utilização da adubação verde em sistemas de rotação de culturas em plantio direto, sobre a produtividade das principais culturas econômicas.

Os resultados obtidos até o momento têm demonstrado que a diversificação das culturas em sistemas de rotação contribuem significativamente para o aumento da produtividade, seja pela melhoria das condições físicas e químicas seja pelo aumento da atividade/diversidade biológica do solo. Isto tem sido atribuído à

redução no uso de fertilizantes inorgânicos, à melhoria na ciclagem de nutrientes, principalmente o nitrogênio, à quebra no ciclo de doenças e ao efeito dos diferentes sistemas radiculares e resíduos das culturas sobre a dinâmica da água e estabilidade estrutural do solo.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de rotação de culturas com adubos verdes de inverno em plantio direto, em relação à sucessão soja/trigo em plantio convencional, sobre algumas propriedades físicas e químicas de dois latossolos roxos do Paraná e seus reflexos sobre a produção de grãos do trigo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades físicas de um solo são modificadas de acordo com o tipo de uso e manejo, incluindo o cultivo a que é submetido. O cultivo pode ser definido como a manipulação física, química e biológica do solo a fim de otimizar suas condições para a produção agrícola.

Os sistemas de cultivos podem ser divididos em dois tipos principais comumente usados: (1) plantio convencional, que consiste de operações de cultivo primário, ou seja, aração utilizando arado de disco, aiveca ou escarificador, seguido pelo cultivo secundário com grade de disco. Uma variação comum deste sistema é o uso de grade de disco pesada, a qual substitui a aração e gradagem de tal modo que o preparo do solo é feito em uma operação única; e (2) plantio direto das sementes sob os resíduos da cultura anterior sem movimentação do solo, exceto na linha de semeadura (CASTRO FILHO et al., 1991).

A manipulação mecânica reduzida e a manutenção dos resíduos culturais na superfície, sob plantio direto, provocam alterações no solo diferentes daquelas resultantes do plantio convencional. A disponibilidade de água e seu uso pelas culturas, estabilidade de agregados, taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade do solo, são alguns exemplos de propriedades físicas que sofrem alterações quando se compara os dois sistemas de cultivo do solo.

Embora as relações de massa e volume do solo na camada arável variem a cada cultivo, seja pelo revolvimento (plantio convencional), ou ausência do mesmo (plantio direto), os processos de deteriorização ou recuperação da estrutura são mais lentos, e dependentes do manejo (VIEIRA, 1981).

2.1.1. RELAÇÕES DE MASSA E VOLUME

O aumento de densidade da camada arável do solo como resultado da transição do sistema de plantio convencional para o plantio direto é bem documentado e se caracteriza pelo aumento da D_s (densidade do solo) e MIP (microporosidade) e diminuição da PT (porosidade total) e principalmente da MAP (macroporosidade) (BAEUMER & BAKERMANS, 1973; SIDIRAS et al., 1984b; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORREA, 1985; CASTRO et al., 1987; KEMPER & DERPSCH, 1981a; HILL, 1990; PELEGRINI et al., 1990; KHAKURAL et al., 1992). Este aumento da D_s , sob plantio direto confere ao solo maior homogeneidade estrutural em termos de espaço poroso do que sob plantio convencional, onde a variação do mesmo com a profundidade é maior (BAEUMER & BAKERMANS, 1973; FERNANDES et al., 1983; CENTURION & DEMATTE, 1985; SIDIRAS et al., 1984b; CASTRO et al., 1987).

Abaixo da camada arável a literatura tem descrito diferentes comportamentos da D_s . A D_s nos sistemas pode continuar com a mesma tendência da camada arável, ou seja, maior D_s sob plantio direto (SIDIRAS et al., 1982; WU et al., 1992), passar a ser igual nos dois sistemas (SIDIRAS et al., 1984b; VIEIRA & MUZILLI, 1984;

CORREA, 1985), ou passar a ser maior no plantio convencional (FERNANDES et al., 1983; CENTURION & DEMATTE, 1985; CASTRO et al., 1987), evidenciando o efeito da uniformidade na profundidade de aração sob este sistema.

Apesar da tendência ao adensamento superficial ser mais comum nos solos sob plantio direto, variações locais podem interferir nos processos físicos que ocorrem no solo e modificar significativamente os resultados observados. Assim, vários autores não têm observado diferenças na D_s entre os sistemas de cultivo (BAUER & BLACK, 1981; BLEVINS et al., 1983; ELTZ et al., 1989), havendo também relatos de maior D_s na camada arável do solo sob plantio convencional (PACKER et al., 1984; UNGER & FULTON, 1990).

Esta maior D_s na camada arável do solo sob plantio convencional, tem sido atribuída ao fato de que apesar do revolvimento reduzir a D_s da camada mobilizada, logo após sua execução, a geometria do espaço poroso produzida usualmente é muito instável e mudanças com o tempo são comuns (CASSEL, 1985). KEMPER & DERPSCH (1981a) e DERPSCH et al. (1992) verificaram que, em latossolo roxo, a D_s aumenta com o tempo desde a última aração, enquanto o número de macroporos e a permeabilidade diminuem. O processo é acelerado pela redução no teor matéria orgânica com o cultivo (MACHADO & BRUM, 1978; CINTRA et al., 1983) e por chuvas intensas após o preparo do solo (KEMPER & DERPSCH, 1981b; UNGER & FULTON, 1990). Embora a compactação possa ser eliminada por um curto período após o preparo do solo, ela sempre retorna quando o solo se acomoda novamente após as primeiras chuvas de maior intensidade (KEMPER & DERPSCH, 1981b).

Por outro lado, o aumento de D_s , nos primeiros anos sob plantio direto, deve-se ao arrançamento natural das partículas devido à ausência de manipulação mecânica. Entretanto, com o passar dos anos, o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície tende a manter ou melhorar propriedades consideradas favoráveis, como baixa densidade e alta estabilidade estrutural, com conseqüentemente melhoria na taxa de infiltração de água (PACKER et al., 1984; SOANE, 1990; UNGER & FULTON, 1990).

SOANE (1990) discute vários mecanismos pelos quais a matéria orgânica pode influenciar a capacidade do solo de resistir à ação de forças compactadoras. Entre os mecanismos discutidos pelo autor, os que mais se relacionam com alterações na densidade do solo são:

- i) força de ligação entre partículas e dentro de agregados: algumas das moléculas de cadeia longa presentes na matéria orgânica do solo são muito efetivas na ligação das partículas minerais, isso é de grande importância dentro dos agregados, que são ligados por uma matriz de material húmico e mucilagens (OADES, 1984);
- (ii) elasticidade: materiais orgânicos possuem um grau mais elevado de elasticidade sob forças compressivas do que partículas minerais, ou seja, a relação entre a densidade do material orgânico sob, e após a aplicação de determinada pressão, é maior do que a do material mineral;
- (iii) efeito de diluição: a densidade de materiais orgânicos é expressivamente menor do que a densidade dos minerais do solo, o que é atribuído à menor densidade de partículas e ao maior desarranjo de empacotamento; deste modo a densidade de uma mistura solo/matéria orgânica seria menor do que a do solo apenas.

2.1.2. PROPRIEDADES HIDRÁULICAS

O manejo do solo através do cultivo influencia a distribuição de poros por tamanho, principalmente macroporos, alterando assim a taxa de movimentação de ar e água no solo (LOGSDON et al., 1990). Embora o revolvimento do solo possa aumentar a proporção de macroporos em relação ao plantio direto (VIEIRA & MUZILLI, 1984; CASTRO et al., 1987) a continuidade dos mesmos seria interrompida, reduzindo sua eficiência na transmissão de água (WU et al., 1992), apesar de haver relatos de maior K_s (condutividade hidráulica saturada) sob plantio convencional (CORREA, 1985; PELEGRINI et al., 1990; KHAKURAL et al., 1992; PIERCE et al., 1992).

WU et al. (1992) verificaram que a K_s foi maior ou igual sob plantio direto, em relação ao plantio convencional, apesar da menor porosidade, demonstrando que os poros no solo sob plantio direto conduziam água com maior eficiência, devido a maior área total de macroporos, e principalmente, ao maior número médio de macroporos contínuos. O mesmo foi observado por CHAN & MEAD (1989), LOGSDON et al. (1990) e KHAKURAL et al. (1992). Estes autores atribuíram a maior proporção de macroporos contínuos sob plantio direto, em relação ao plantio convencional, à ausência de revolvimento do solo.

PAGLIAI et al. (1983) observaram que a porosidade total foi significativamente maior em áreas sob plantio convencional, mas que a proporção de poros variando entre 30 a 50 μm , que são considerados os mais importantes nas relações solo-água-planta e na

manutenção de uma boa estrutura, foram maiores nas áreas sob plantio direto.

PACKER et al. (1984) atribuíram o aumento da K_s , sob plantio direto em relação ao plantio convencional, ao aumento da matéria orgânica do solo com a conseqüente redução da D_s . Alguns trabalhos, entretanto, têm mostrado que a K_s de solos cultivados e sob plantio direto não diferem entre si (OBI & NNABUDE, 1988; DATIRI & LOWERY, 1991; BLEVINS et al., 1983).

Medidas da taxa de infiltração no campo também têm mostrado resultados controversos. VIEIRA & MUZILLI (1984) observaram taxas de infiltração maiores para o plantio convencional em relação ao plantio direto, mas salientam que apesar das diferenças observadas, as taxas eram elevadas em ambos os sistemas (acima de 125 mm.h^{-1}). Sob chuva simulada, no entanto, menores taxas de infiltração sob plantio direto não implicam em maior escoamento superficial, já que nestas condições a resistência à desagregação pelo impacto das gotas e a quantidade de cobertura do solo, maiores sob plantio direto, passam a ser mais relevantes na determinação da quantidade de água que penetra no solo (LAL et al., 1980; DERPSCH et al., 1986; SIDIRAS & ROTH, 1987). Isso foi confirmado pelos resultados de CENTURION & DEMATTE (1985) e ELTZ et al. (1989), que observaram maior velocidade de infiltração final e maior volume de água infiltrada com o tempo sob plantio direto quando compararam os dois sistemas. SIDIRAS & ROTH (1987), observaram que as taxas de infiltração medidas com infiltrômetro de anéis concêntricos foram maiores sob plantio convencional e menores sob plantio direto,

enquanto áquelas medidas sob simulador de chuva produziram resultados inversos. Isto ocorre, porque quando se utiliza anéis concêntricos, a água penetra no solo sem que haja o efeito do impacto da gota, não importando, desta forma, a estabilidade estrutural da superfície do solo, mas apenas a distribuição de poros por tamanho, principalmente macroporos. Sob chuva simulada no entanto, a estabilidade dos agregados ao impacto da gota e a quantidade de cobertura do solo, maiores sob plantio direto (SIDIRAS & ROTH, 1987; ROTH et al., 1991), passam a ser relevantes na determinação das taxas de infiltração devido aos seus efeitos de redução no selamento superficial do solo.

Além do preparo do solo, a taxa de infiltração, pode sofrer influência das culturas cultivadas anteriormente à sua avaliação. KEMPER & DERPSCH (1981b) verificaram que, sob plantio direto houve um aumento consistente na taxa de infiltração quando culturas de cobertura foram utilizadas. Nesse estudo, o tremoço após o trigo, aumentou a taxa de infiltração em 284 %, em relação a soja após o trigo. Quando a soja foi cultivada após o tremoço, a taxa de infiltração foi 67 % maior em relação a soja cultivada após o trigo. Os autores consideraram que a principal razão para que as condições físicas fossem melhoradas tão marcadamente, não apenas após o tremoço, mas após todas as culturas de cobertura testadas (*Vicia vilosa*, *Pacelia sp.*, *Brassica campestris*, *Brassica napus*, *Sinapsi alba*) parece estar relacionada com diferenças entre os sistemas radiculares das plantas. Todas as culturas de cobertura produziram consideravelmente maior volume de raízes do que o trigo,

e o comportamento de seus sistemas radiculares também foi diferenciado. Foi observado que o sistema radicular do trigo e da soja mostrou alguma sensibilidade à compactação, enquanto que o do tremoço não teve dificuldade em penetrar camadas compactadas, confirmando as observações de CINTRA & MIELNICZUK (1983) que demonstraram que o tremoço era capaz de penetrar em camadas com densidade superior a $1,30 \text{ g/cm}^3$, enquanto que a soja apresentava desvio do eixo principal da raiz pivotante, paralelo à camada com esta densidade. KEMPER & DERPSCH (1981b) atribuíram a melhoria na taxa da infiltração verificada após a cultura do tremoço à ação de suas raízes, o que foi por eles denominado "arado biológico". Tem-se verificado, ainda, a contribuição dos canais abertos pelas raízes na formação de macroporos contínuos, com conseqüente aumento da K_s (KHAKURAL et al., 1992) e da taxa de infiltração (ELTZ et al., 1989) sob plantio direto.

2.1.3. ESTABILIDADE ESTRUTURAL

Argila, silte e areia raramente estão presentes no solo como entidades discretas. Essas partículas primárias são ligadas entre si para formar o que se denomina de agregado. Agregados estáveis em água têm sido divididos em microagregados ($<0,25 \text{ mm}$) e macroagregados ($>0,25 \text{ mm}$) (EDWARDS & BREMNER, 1967).

TISDALL & OADES (1982) e OADES (1984) apresentaram um modelo conceitual para a estrutura do solo que descreve a associação da matéria orgânica com os três tipos de unidades físicas existentes

em solos minerais: partículas primárias, microagregados e macroagregados. Em solos onde a matéria orgânica é o principal agente ligante a macroagregação é controlada pelo manejo. Em geral, o número de macroagregados pode ser aumentado pela adição de materiais orgânicos passíveis de decomposição, enquanto que a microagregação não é sensível ao manejo. Deste modo, é mais difícil melhorar a microagregação através de práticas comuns de manejo, embora, a longo prazo, sistemas que conservem a matéria orgânica melhorem lentamente o número de microagregados (OADES, 1984).

TISDALL & OADES (1982) propuseram três tipos de agentes ligantes responsáveis pela agregação do solo: (i) transitórios, compostos de polissacarídeos derivados de plantas e microrganismos, que são rapidamente decompostos pela ação microbiana, (ii) temporários, incluindo raízes e hifas de fungos, especialmente de micorrizas, e (iii) persistentes, material húmico aromático em associação com compostos de Fe e Al amorfos e cátions metálicos polivalentes. Os cátions polivalentes atuam como pontes entre as argilas negativamente carregadas e/ou grupos carboxílicos da matéria orgânica (EDWARDS & BREMNER, 1967).

Os agentes ligantes persistentes são considerados os principais responsáveis pela integridade dos microagregados, os quais, são considerados os blocos constituintes da estrutura do solo, pois podem ser unidos para formar macroagregados pela ação de agentes ligantes transitórios e temporários (TISDALL & OADES, 1982; ELLIOT, 1986).

A redução do teor de matéria orgânica do solo, devido a exposição de material orgânico antes inacessível a ação microbiana, e do comprimento de raízes e hifas de fungos, proporcionados pelo cultivo prolongado (ROVIRA & GREACEN, 1957; LYNCH, 1984; SPARLING et al., 1992), causa a redução de macroagregados (TISDALL & OADES, 1980b) devido ao seu fracionamento em unidades menores (TISDALL et al., 1978; LYNCH, 1984; GREGORICH et al., 1989; SPARLING et al., 1992).

Os ligantes de microagregados são relativamente permanentes, não sendo afetados por mudanças no teor de matéria orgânica do solo causadas por diferenças no manejo (TISDALL & OADES, 1980b; TISDALL & OADES, 1982; BOYLE et al., 1989). Isto confere estabilidade aos microagregados contra as forças desagregadoras proporcionadas pelo rápido umedecimento e práticas agrícolas. A estabilidade de microagregados deve-se ao fato destes conterem vários tipos de agentes ligantes cujos efeitos são aditivos. Microagregados são constituídos por partículas de 2-20 μm de diâmetro, mantidas unidas por vários agentes cimentantes, que incluem material orgânico persistente, óxidos cristalinos e aluminossilicatos altamente desordenados (EDWARDS & BREMNER, 1967; TISDALL & OADES, 1982).

A redução do revolvimento do solo e o acúmulo de resíduos protegem os agregados da superfície contra a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e variações bruscas de umidade. Ao mesmo tempo, o fornecimento de material orgânico, através de secreções radiculares, renovação do sistema radicular e resíduos de cultura, serve como fonte de energia para a atividade microbiana, cujos

subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de formação e estabilização de agregados (HARRIS et al., 1966; TISDALL & OADES, 1982; BOYLE et al., 1989).

O teor de matéria orgânica de macroagregados tende a diminuir e a proporção de microagregados a aumentar com o cultivo (TISDALL & OADES, 1980b). A ausência de revolvimento e maior fornecimento de resíduos orgânicos favorece o acúmulo de matéria orgânica em macroagregados, o que lhes confere maior estabilidade (TISDALL & OADES, 1980b; DORMAAR, 1983; 1984; CHRISTENSEN, 1986; ELLIOT, 1986; HAYNES & SWIFT, 1990; CARTER, 1992; SMETTEM et al., 1992).

A adoção de sistemas de rotações de cultura que mantenham a proteção do solo e permitam o fornecimento contínuo de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção ou recuperação da estrutura. O sistema de plantio direto tem mostrado cumprir com estes requisitos quando comparado ao plantio convencional. DOUGLAS & GOSS (1982) verificaram que tanto o teor de matéria orgânica, como a estabilidade de macroagregados, diminuía com o cultivo e poderiam ser melhoradas pelo plantio direto. Outros autores também observaram aumento de estabilidade de agregados sob plantio direto quando comparado ao convencional (SIDIRAS et al., 1982; VIEIRA & MUZILLI, 1984; ELTZ et al., 1989; CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; UNGER & FULTON, 1990; ROTH et al., 1991; CARTER, 1992).

Diferenças na estabilidade de agregados entre sistemas de preparo de solo muitas vezes têm sido condicionadas ao tipo de rotação utilizada. HARRIS et al. (1966), observaram que sistemas

envolvendo gramíneas, que apresentam um sistema radicular extenso e em constante renovação, e leguminosas, que contribuem com nitrogênio e aumentam a taxa de decomposição da matéria orgânica, pela baixa relação C/N do resíduo, são os mais eficientes na manutenção de uma boa estrutura. ROTH et al. (1991) observaram maior índice de estabilidade de agregados (IEA), obtido a partir do número de gotas necessárias para a destruição de um agregado, e maior diâmetro médio ponderado (DMP) para agregados provenientes do sistema de plantio direto quando comparados ao convencional. Quando foi comparado o efeito dos tipos de sequências de culturas, a rotação constituída por soja-tremoço-milho-trigo foi a que mostrou os maiores valores para o IEA e DMP, em relação as sucessões soja-trigo e milho-tremoço, que não diferiram entre si.

Estudando o efeito do milho contínuo e da sucessão milho-soja, KHAKURAL et al. (1992) verificaram que a estabilidade de agregados foi influenciada apenas dentro da sucessão milho-soja, na qual a estabilidade foi maior no plantio direto em relação ao convencional.

O aumento da estabilidade estrutural, além de melhorar as condições físicas para o desenvolvimento das plantas, também contribui para a redução nas perdas por erosão (ANGULO et al., 1984). SIDIRAS et al. (1984a), por exemplo, estudaram o efeito de diferentes intensidades de chuvas sobre a desagregação e escoamento em parcelas de plantio convencional e direto sobre latossolo roxo com e sem cobertura de restevas de trigo. Os autores verificaram que, em relação ao plantio convencional (100%), o

material erodido por "splash" no plantio direto foi de 6,3% sem restos culturais e de 2,4% na presença destes. Isso foi atribuído ao melhor controle das perdas de água e solo sob plantio direto, principalmente devido ao maior grau de cobertura e a maior estabilidade estrutural do solo.

2.2. ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

2.2.1. CARBONO E NITROGÊNIO

A dinâmica da matéria orgânica representa um papel chave em ecossistemas naturais e agrícolas. Em sistemas de agricultura intensiva, os vários componentes orgânicos têm potencial para atuarem como reservatório temporário de nutrientes. O manejo apropriado desse reservatório tornaria possível aumentar a eficiência de uso dos nutrientes do solo e fertilizantes (PAUL, 1984).

O manejo inadequado dos latossolos paranaenses, tem acarretado a redução do seu teor de matéria orgânica com o tempo (MONDARDO et al., 1979b). HENKLAIN & CASÃO (1989) demonstraram que as perdas de carbono orgânico são proporcionais às perdas de solo e representavam 25% das reservas de carbono na camada arável (0-20 cm).

O sistema de plantio direto além de proporcionar controle eficiente da erosão (VIEIRA et al., 1978; MONDARDO et al., 1979a; MONDARDO & BISCAIA, 1981; KEMPER & DERPSCH, 1981a; SIDIRAS et al., 1982; SIDIRAS et al., 1984a) tende a aumentar o teor de matéria

orgânica do solo quando comparado a outros sistemas (BAUER & BLACK, 1981; BLEVINS et al., 1983; DICK, 1983; CENTURION & DEMATTE, 1985; SIDIRAS & PAVAN, 1985; FOLLET & PETERSON, 1988; CASTRO, 1989; MUZILLI, 1989; HAVLIN et al., 1990; CARTER, 1992; SMETTEM et al., 1992), apesar de alguns trabalhos demonstrarem ausência de tal efeito (CASTRO et al., 1987; ELTZ et al., 1989) ou até redução no seu teor sob plantio direto (UNGER & FULTON, 1990).

STALEY et al. (1988), estudando o efeito de anos de uso do sistema de plantio direto (0, 1, 2, 4, 7, 9, 15 e 20 anos) sobre os componentes orgânicos, verificaram que os teores de C-orgânico e N-total foram geralmente maiores na superfície do solo (0 a 7,5 cm) do que na camada de 7,5-15 cm, e aumentavam com o número de anos sob plantio direto.

Esta tendência de aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, com o tempo, sob plantio direto, também foi observada por MUZILLI (1981;1983). Após três anos de cultivo em latossolo roxo distrófico na região norte e latossolo vermelho-escuro distrófico na região sul do Estado do Paraná, não foram observadas diferenças quanto ao teor de matéria orgânica entre os sistemas de plantio direto e convencional (MUZILLI, 1981); porém após 5 anos as diferenças passaram a ser significativas, com teores mais elevados no plantio direto (MUZILLI, 1983).

★ Vários estudos de curta duração comparando plantio direto e convencional têm sugerido que o plantio direto promove uma deficiência temporária de nitrogênio (CASTRO FILHO et al., 1991) principalmente para o milho e trigo, e que a inclusão de

leguminosas em rotação diminui esta deficiência (MUZILLI, 1981,1983; MUZILLI et al., 1983; SARRANTONIO & SCOTT, 1988).

RICE et al. (1986), comparando os dois métodos de cultivo verificaram que durante os primeiros nove anos do estudo os rendimentos do milho foram consideravelmente maiores sob plantio convencional do que no plantio direto sem a aplicação de nitrogênio. A partir do décimo ano, no entanto, não foram observadas diferenças consistentes entre os sistemas de cultivo com respeito ao rendimento do milho. Tal resultado levou os autores a sugerirem que a menor disponibilidade de N, frequentemente observada sob plantio direto, em alguns casos pode ter um efeito transitório, já que, após 10 anos a disponibilidade de N no plantio direto aparentemente se aproximou daquela no plantio convencional. Resultados semelhantes foram obtidos por CARTER & RENNIE (1985; 1987).

Segundo SANCHEZ (1976) as perdas de nitrogênio do solo podem se dar por volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão e absorção pelas plantas. Neste contexto, vários processos no solo, afetados pelo cultivo, têm sido considerados responsáveis pela deficiência de N sob plantio direto. Considerando apenas as perdas relacionadas aos processos influenciados pelo cultivo do solo, verifica-se que as perdas por erosão são muito reduzidas sob sistemas de cultivo conservacionista, visto que os processos erosivos são reduzidos a um mínimo nestas condições, especialmente quanto se trata do plantio direto (KEMPER & DERPSCH, 1981a; SIDIRAS et al., 1982; 1984a). Por outro lado a cobertura morta reduziria a

evaporação, reduzindo o movimento ascendente de água e sais (incluindo os nitratos), fazendo com que o N potencialmente lixiviável não retorne às camadas superficiais (THOMAS et al., 1973). Associado a isto, as maiores taxas de infiltração observadas sob plantio direto (CENTURION & DEMATTE, 1985; ELTZ et al., 1989) contribuem para maior lixiviação de nitratos, como observado por THOMAS et al., (1973), McMAHON & THOMAS (1976) e STEIN et al. (1987). A possibilidade da desnitrificação se acentuar com o plantio direto tem sido atribuída principalmente à elevação da umidade (SIDIRAS et al., 1983) e energia para os organismos desnitrificadores, proporcionados pela elevação dos teores de matéria orgânica do solo (RICE & SMITH, 1982; AULAKH et al., 1984; GROFFMAN, 1984). Ainda sob plantio direto, tem sido observadas maiores taxas de imobilização de N (RICE & SMITH, 1984), do que sob o plantio convencional, devido a elevação da relação C/N dos resíduos produzidos sob condições de menor disponibilidade de N.

A redução dos teores de matéria orgânica do solo com o cultivo é bem estabelecida (DORAN & SMITH, 1987). Conseqüentemente, tem-se observado maior mineralização de N em solos cultivados do que sob plantio direto (DORAN, 1980; SARRANTONIO & SCOTT, 1988; BALESDENT et al., 1990). DICK (1983) atribuiu este efeito à menor interação entre o solo e os resíduos orgânicos proporcionada pela ausência de revolvimento no plantio direto. Numa situação de equilíbrio, no entanto, assumindo entradas e perdas de N aproximadamente iguais em ecossistemas sob plantio direto e convencional, o plantio convencional não poderia indefinidamente

fornecer mais nitrogênio através da decomposição da matéria orgânica, tanto que, tem sido observada redução relativa do reservatório de nitrogênio do solo em comparações dos sistemas de cultivo a longo prazo, isto é, solos sob plantio convencional contêm menos carbono e nitrogênio do que solos sob plantio direto (BAUER & BLACK, 1981; DICK, 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; HAVLIN et al., 1990).

Embora a taxa de mineralização possa continuar a ser maior em solos cultivados, o acúmulo gradual de maior C- e N-orgânico sob plantio direto pode ser compensatória. Isto significa que, inicialmente pode-se observar maior disponibilidade relativa de N sob plantio convencional, mas essa tendência não persiste com o tempo. Após várias estações, solos sob plantio direto podem começar a suprir N às culturas em quantidades iguais ou superiores às observadas sob plantio convencional (RICE et al., 1986; STEIN et al., 1987), devido a elevação no potencial de mineralização (EL-HARRIS et al., 1983; WOOD et al., 1990).

2.2.2. EFEITOS SOBRE A CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA DO SOLO

As mudanças sofridas pela matéria orgânica durante sua mineralização e o destino dos nutrientes a ela relacionados têm sido discutidos em vários trabalhos (PAUL & CLARK, 1989; FOLLET et al., 1987). Além de funcionar como um reservatório de nutrientes, a matéria orgânica, quando humificada, pode reter cátions em uma forma trocável e rapidamente transferível à solução do solo como

nutriente para as plantas. Em função de sua densidade, a contribuição da matéria orgânica para a capacidade de troca de cátions (CTC) é relativamente muito maior, do que a do material inorgânico do solo. VAN RAIJ (1969), estudando a CTC da matéria orgânica e da fração mineral em 103 amostras de 22 perfis de solos do Estado de São Paulo, verificou que a CTC da matéria orgânica, expressa em meq/100g, variou de 190 a 400 em amostras superficiais, e de 160 a 490 em amostras subsuperficiais, enquanto que a CTC da fração mineral no horizonte B variou entre 2,7 e 20,0. Em média, a contribuição da matéria orgânica à CTC do solo foi de 74% para amostras superficiais, diminuindo para 35% no horizonte B.

PAVAN et al. (1985), estudando as características químicas e mineralógicas de solos ácidos do estado do Paraná, verificaram que a contribuição do carbono orgânico para a CTC dependente do pH do solo foi, em média, de 83%. Segundo esses autores, embora os solos estudados contivessem teores altos de argila, a CTC dependente do pH atribuída a esta fração foi pequena (17%), possivelmente por ser constituída por minerais de baixa atividade. Esta baixa atividade dos minerais componentes dos solos tropicais tem sido atribuída as suas características de cargas dependentes do pH (PAVAN, 1983; PAVAN et al., 1985; KLAMT & SOMBRÔEK, 1988).

O declínio da fertilidade de solos tropicais com carga variável, como uma consequência do cultivo prolongado é ilustrado por FOX (1980). Após 90 anos de cultivo, uma redução de 30% no teor de carbono orgânico reduziu em 32% a CTC do solo.

Os dados apresentados ilustram a importância do nível de matéria orgânica do solo na preservação ou melhoria da capacidade produtiva dos solos tropicais. Deste modo, sistemas de cultivo que contribuam para a manutenção ou aumento dos níveis de matéria orgânica do solo, melhoram sensivelmente seu grau de fertilidade. Em geral, a camada superficial de um solo manejado sob plantio direto contém mais matéria orgânica e relativamente maior potencial de fertilidade do que solos manejados sob plantio convencional (LAL, 1989).

SIDIRAS & PAVAN (1985) verificaram que o plantio direto, em comparação com o convencional, proporcionou aumentos de pH, Ca, Mg, K e P e, conseqüentemente, da CTC efetiva, principalmente nos horizontes próximos à superfície. A mesma tendência de elevação na saturação de bases e da CTC foi observada por outros autores (BLEVINS et al., 1983; MUZILLI, 1983; CENTURION et al., 1985; CASTRO et al. 1987; FOLLET & PETERSON, 1988).

Mudanças na CTC podem ocorrer dentro de um mesmo sistema de manejo, desde que as seqüências de culturas favoreçam um maior acúmulo de material orgânico no solo. Nesse sentido, TESTA et al. (1992), comparando diferentes sistemas de rotações de cultura com milho em plantio direto, observaram que na camada de 0 a 2,5 cm os sistemas promoveram aumentos significativos na CTC a pH 7,0 após cinco anos, em relação ao sistema pousio/milho (7,5 meq/100g), que chegaram ao máximo de 80% no sistema milho+guandu (13,5 meq/100g) e mínimo de 15% no sistema milho/aveia (8,6 meq/100g). Houve correlação significativa ($P < 0,01$) entre CTC a pH 7,0 e CTC

efetiva com o teor de carbono orgânico do solo, indicando o efeito dos sistemas de cultura sobre o carbono orgânico e, conseqüentemente, sobre a CTC do solo.

SMETTEM et al. (1992) estudando o efeito de sucessões de culturas e tipos de preparo do solo observaram que a CTC efetiva foi fortemente dependente do teor de carbono orgânico e em consequência, foi maior no plantio direto (6,66 meq/100g) do que no convencional (5,13 meq/100g). A CTC, sob plantio direto, foi maior sob a sucessão trigo-tremoço (7,54 meq/100g) do que sob trigo-pastagem (6,23 meq/100g) ou trigo contínuo (6,22 meq/100g).

Os resultados de pesquisa aqui sumarizados, comparando os sistemas de plantio direto e convencional, e as variações dos mesmos com a introdução de sistemas de rotação de culturas indicam que, de uma forma geral, a tendência de maior adensamento do solo sob plantio direto, nos primeiros anos sob o sistema, pode ser revertida pelo acúmulo de material orgânico ao longo dos cultivos, e pela utilização de sistemas de rotação que incluam culturas com sistemas radiculares capazes de interferir neste processo, como tem sido verificado para o tremoço. Quanto aos efeitos dos sistemas de cultivo sobre a fertilidade do solo, fica evidenciado que o sistema de plantio direto, além de favorecer sua melhoria, através, novamente, da elevação dos teores de matéria orgânica do solo, principal responsável pela capacidade de troca catiônica nos solos tropicais, permite que os níveis existentes sejam mantidos devido a maior estabilidade e proteção do solo à erosão por ele proporcionado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras de materiais de solos de experimentos envolvendo rotação de culturas em plantio direto, conduzidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Soja, CNPSo-EMBRAPA, em Londrina e CNPSo-EMBRAPA em convênio com a Cooperativa Agropecuária Mourãoense-COAMO em Campo Mourão, Paraná.

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Em Londrina o experimento está localizado na área experimental do CNPSo ($23^{\circ}22'S$ e $51^{\circ}10'W$), onde a altitude é de 585 metros. O relevo é suave ondulado, com declividade média de 5%. O solo foi classificado como Latossolo Roxo eutrófico, muito argiloso (EMBRAPA, 1984). A unidade amostrada representa 8,63% da área de latossolo roxo do Paraná. Em Campo Mourão o experimento está localizado na estação experimental da COAMO ($24^{\circ}03'S$ e $52^{\circ}22'W$), onde a altitude é de 616 metros. O relevo é suave ondulado com declividade média de 5%. O solo foi classificado como Latossolo Roxo álico, muito argiloso (EMBRAPA, 1984). A unidade amostrada representa 8,30% da área de latossolo roxo do Paraná. As características climáticas dos locais são apresentadas na Tabela 01. Algumas características químicas e físicas da camada de 0-20 cm dos solos estudados antes da implantação dos experimentos são apresentadas na Tabela 02.

TABELA 01. Características climáticas dos locais estudados.

características ¹	Londrina	Campo Mourao
precipitação (mm)	1608	1400
precipitação do trimestre mais seco (mm) (JUN-JUL-AGO)	150-200	250-300
precipitação do trimestre mais úmido (mm) (DEZ-JAN-FEV)	500	500
temperatura (°C)	21	20,5
temperatura do mês mais frio (°C) (JUL)	16,6	16,2
temperatura do mês mais quente (°C) (FEV)	24	23,8
umidade relativa (%)	< 75 semi-úmido	> 75 úmido
horas de luz	2600	2400
classificação de Koppen ²	Cfa	Cfa

¹ Médias anuais. ² subtropical úmido, mesotérmico, verões quentes, geadas menos frequentes, concentração de chuvas no verão, sem estação seca definida. FONTE: IAPAR (1978).

TABELA 02. Características dos solos antes da implantação dos experimentos (0-20cm).

	pH CaCl2	Al	K	Ca	Mg	H+Al	t	T	m	C-org	argila	silte	areia
					meq/100g						%		
Londrina	5,20	0,00	0,44	8,01	1,73	1,68	10,18	11,86	0,00	1,84	71	16	12
Campo Mourão	4,70	0,14	0,11	3,48	1,69	5,65	5,42	12,07	2,58	2,43	71	22	7

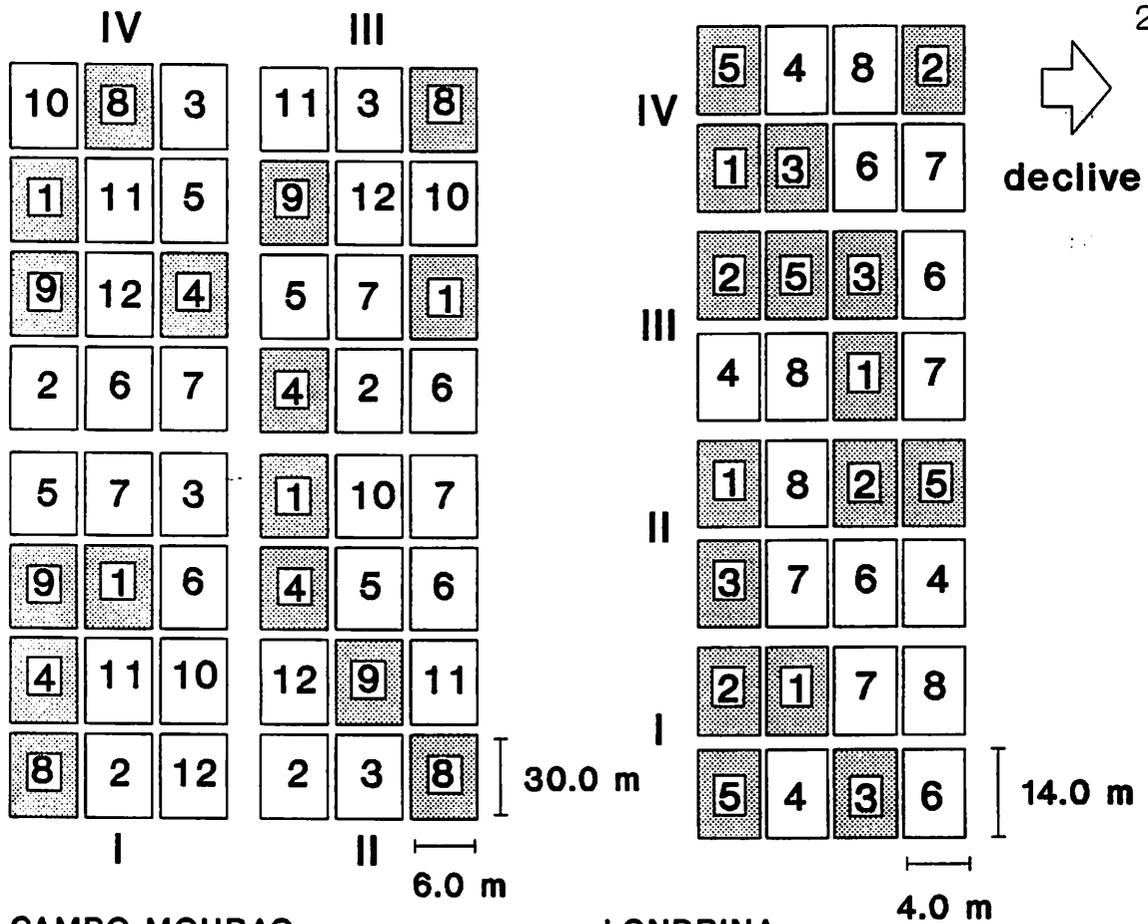
t: CTC efetiva; T: CTC potencial; m: saturação por alumínio.

Ambas as áreas, até o início dos experimentos, têm o mesmo histórico, o qual é típico do Norte e Centro-Oeste paranaense. Elas foram desmatadas a partir da floresta virgem em torno de 50 anos atrás e então cultivadas com café até 1970 em Campo Mourão e 1973 em Londrina, quando então passaram para o cultivo anual de soja no verão e trigo no inverno.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E SELEÇÃO DOS TRATAMENTOS

Em Campo Mourão o experimento foi iniciado em 1985, com o objetivo de avaliar o potencial de sistemas de rotação de culturas na preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo em relação às culturas da soja e do trigo, utilizando-se o sistema de preparo convencional do solo alternado com o sistema de plantio direto. Para tal foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições e 12 sistemas de rotação de cultura com ciclo de quatro anos (Figura 01). No primeiro ciclo, em todos os tratamentos, foi utilizado o preparo convencional do solo nos três primeiros cultivos e semeadura direta nos demais, exceto no tratamento 09 que é de semeadura direta contínua. No segundo cultivo do segundo ciclo todos os tratamentos, exceto o 9, foram implantados utilizando o preparo convencional do solo, com semeadura direta nos demais cultivos.

Em Londrina o experimento também foi iniciado em 1985, diferindo em relação a Campo Mourão no número de sistemas de rotação, que passam a ser oito e na utilização do sistema de plantio direto contínuo, exceto pela escarificação realizada após a cultura da soja em 1989 devido à elevação da densidade do solo observada (GAUDÊNCIO et al., 1989). Utilizou-se, para isso, escarificador tipo cruzador sem gradeação e, logo após, foram implantadas as culturas de inverno com máquina de semeadura direta.



CAMPO MOURAO

TRATAMENTOS:

- 01. TMML TMML TRSJ TRSJ
- 02. TMML AVML TRSJ TRSJ
- 03. TMML TMSJ TRSJ TRSJ
- 04. TMML AVSJ TRSJ TRSJ
- 05. TMMM SJ TRSJ TRSJ
- 06. TRSJ MCSJ TRSJ TRSJ
- 07. TRMG SJ TRSJ TRSJ
- 08. AVSJ AVSJ TRSJ TRSJ
- 09. TRSJ TRSJ TRSJ TRSJ
- 10. TRSJ GMSJ TRSJ TRSJ
- 11. TRSJ TRSJ TRSJ TRSJ
- 12. TMSJ TMSJ TRSJ TRSJ

tratamentos utilizados neste trabalho

LONDRINA

TRATAMENTOS:

- 01. TRSJ TRSJ TRSJ TRSJ
- 02. AVSJ TRSJ AVSJ TRSJ
- 03. TMML AVSJ TRSJ TRSJ
- 04. TMML TRSJ TRSJ TRSJ
- 05. TMML TRSJ TMML TRSJ
- 06. AVSJ AVSJ AVSJ TRSJ
- 07. TMML AVSJ AVSJ TRSJ
- 08. TMML TMML AVSJ TRSJ

LEGENDA:

- ML: MILHO
- SJ: SOJA
- TR: TRIGO
- AV: AVEIA
- MC: MUCUNA
- MM: MILHO/MUCUNA
- MG: MILHO/GUANDU
- GM: GUANDU/MILHO
- TM: TREMOCO
- I, II, III, IV: BLOCOS

FIGURA 01. Esquema de campo e tratamentos.

Tendo como base os resultados de produção de grãos de soja, trigo e milho no experimento (GAUDÊNCIO et al., 1989) e no Estado do Paraná (DERPSCH et al., 1985; DERPSCH et al., 1992), foram selecionados quatro tratamentos, comuns aos dois locais (Figura 01): a testemunha soja (SJ)/trigo (TR) contínuo em plantio direto (sistema 9 em Campo Mourão e sistema 1 em Londrina), e três sistemas envolvendo adubação verde de inverno, com tremoço (TM) antecedendo o milho (ML) (sistema 1 em Campo Mourão e sistema 5 em Londrina), e seguidos da aveia (AV) (sistema 4 em Campo Mourão e sistema 3 em Londrina) e a aveia antecedendo a soja (sistema 8 em Campo Mourão e sistema 2 em Londrina), que mostraram ser os mais recomendados para as regiões Centro-Oeste e Norte do Paraná.

Em ambos locais foram incluídas duas áreas fora do experimento: uma com utilização de plantio convencional de soja e trigo e outra sob floresta nativa. Em Campo Mourão, devido à ampla adaptação e aceitação do sistema de plantio direto, não foi possível obter uma área que tivesse no mínimo o mesmo período do experimento (7,5 anos) sob plantio convencional. Assim, foi selecionada uma área com o seguinte histórico: plantio convencional de 1970 a 1985; plantio direto com a sequência TMML AVSJ TRSJ TRSJ TRSJ TRSJ de maio 1985 a maio de 1991 e plantio convencional com TR SJTR até setembro 1992, ou seja, apenas três cultivos sob plantio convencional no momento da avaliação. Em Londrina, a área de plantio convencional vinha sendo utilizada sob este sistema com a sucessão SJTR desde 1973, portanto há 19 anos no momento da avaliação.

Para facilitar a apresentação dos resultados, os tratamentos avaliados, inclusive as áreas fora do experimento, passam a ser identificados segundo a simbologia apresentada na Tabela 03: **CONV**, sucessão soja-trigo sob plantio convencional; **DIR**, sucessão soja-trigo sob plantio direto contínuo; **AVEIA**, ciclo de rotação de culturas de 4 anos com aveia substituindo o trigo duas vezes durante o ciclo; **TMMLAV**, ciclo de rotação de culturas de 4 anos com o tremoço e a aveia substituindo o trigo, e o milho substituindo a soja apenas uma vez durante o ciclo; **TMML**, ciclo de rotação de culturas de 4 anos com tremoço substituindo o trigo, e o milho substituindo a soja, duas vezes durante o ciclo; e **MATA**, representando a área sob vegetação natural, constituída em Londrina por floresta tropical sub-perenefólia e em Campo Mourao por floresta sub-tropical perenefólia (EMBRAPA, 1984).

3.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Em ambos os locais, em março de 1985, antes da implantação dos experimentos, todos os tratamentos receberam uma dose de calcário equivalente a necessária para atingir 70% da saturação por bases, o que correspondeu à dose de 2,5 t/ha em Campo Mourão e 2,0 t/ha em Londrina. O calcário foi incorporado com arado de disco. Em 1991, antes da implantação das culturas de verão, no caso a soja, todos os tratamentos receberam nova dose de calcário, tendo como base a mesma saturação a ser atingida, o que correspondeu a 2,0 t/ha em Campo Mourão e 1,7 t/ha em Londrina. A aplicação do

calcário foi realizada com adubadeira de plantio direto, portanto sem incorporação. Em Londrina na mesma oportunidade, junto com o calcário foi aplicada uma dose de 200 kg/ha de superfosfato simples em todos os tratamentos, a fim de corrigir as diferenças existentes entre os sistemas quanto à disponibilidade de fósforo. Isto devido ao fato das culturas do tremoço e da aveia não receberem adubação, o que acarretou a redução relativa deste nutriente nos tratamentos por elas constituídos (GAUDÊNCIO et al., 1989).

TABELA 03. Sequência de culturas e método de cultivo nos diferentes sistemas de rotação de culturas avaliados.

SISTEMAS	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	inv	ver/inv	ver/inv	ver/inv	ver/inv	ver/inv	ver/inv	ver/inv ¹
	1o. ciclo				2o. ciclo			
	Londrina							
CONV	TR c	SJ c	TR c	SJ c	TR c	SJ c	TR c	SJ c
DIR	TR d	SJ d	TR d	SJ d	TR d	SJ d	TR d	SJ d
AVEIA	AV d	SJ d	TR d	SJ d	AV d	SJ d	TR d	SJ d
TMMLAV	TM d	ML d	AV d	SJ d	TR d	SJ d	TM d	ML d
TMML	TM d	ML d	TR d	SJ d	TM d	ML d	TR d	SJ d
MATA	floresta tropical sub-perenifólia							
	Campo Mourão							
CONV	TM d	ML d	AV d	SJ d	TR d	SJ d	TR d	SJ d
DIR	TR c	SJ d	TR d	SJ d	TR d	SJ d	TR d	SJ d
AVEIA	AV c	SJ c	AV c	SJ d	TR d	SJ d	AV d	SJ c
TMMLAV	TM c	ML c	AV c	SJ d	TR d	SJ d	TM d	ML c
TMML	TM c	ML c	TM c	ML d	TR d	SJ d	TM d	ML d
MATA	floresta sub-tropical perenifólia							

TM: tremoço, SJ: soja, TR: trigo, AV: aveia, ML: milho, c: plantio convencional; d: plantio direto; inv: inverno; ver: verão; ¹ amostragem

Em ambos os locais as culturas receberam adubação equivalente a: 200 kg/ha de 8-30-10 mais 20 kg/ha de N em cobertura para o trigo; 200 kg/ha de 5-25-25 mais 30 kg/ha de N em cobertura para o milho; e 200 kg/ha de 0-20-20 para a soja; o nitrogênio em cobertura foi aplicado na forma de sulfato de amônio. Como mencionado anteriormente, o tremoço e a aveia não receberam adubação.

O controle de ervas daninhas foi realizado com herbicidas de pré-emergência (roundap, para a soja e o trigo e dual+bladex para o milho) e, quando necessário, com herbicidas de pós-emergência (post e classic para a soja) nas dosagens recomendadas.

As cultivares de soja, trigo, milho, aveia e tremoço variaram entre os anos de cultivo e locais, levando-se em consideração na seleção, o crescimento da produção de sementes e da área plantada no estado. Na safra do inverno de 1992, em ambos os locais foi utilizada a cultivar de trigo BR-23, moderadamente tolerante a alumínio (20-35% de saturação por alumínio). A soja foi plantada com espaçamento de 45 cm entre linhas e população final de 400.000 plantas/ha. Para o trigo, o milho, a aveia e o tremoço, os respectivos valores foram: 18 cm e 4.500.000 plantas/ha; 90 cm e 50.000 plantas/ha; 18 cm e 3.000.000 plantas/ha; 45 cm e 300.000 plantas/ha.

Para o plantio foram utilizadas as semeadeiras Semeato PS-8 para o milho e soja, e Semeato TD-220 para o trigo, tremoço e aveia em Campo Mourão. Em Londrina foi utilizada a semeadeira Marchesan SDA-15/8 para todas as culturas exceto o milho, onde foi utilizada a plantadeira Marchesan Super Tatu.

A colheita do trigo foi realizada com colheitadeira comercial em Campo Mourão, já que o tamanho da parcela assim o permitiu, enquanto que em Londrina foi utilizada uma colheitadeira de parcelas (Wintersteiger). Os valores de produção de grãos foram convertidos para Kg.ha^{-1} com correção para 13% de umidade. Os adubos verdes (tremoço e aveia) foram conduzidos até o estágio de grão leitoso e então manejados com rolo faca.

3.4. AMOSTRAGENS DE SOLO

As amostragens foram realizadas no ano de 1992, no final de setembro em Campo Mourão e início de novembro em Londrina. Todas as parcelas sob cultivo foram amostradas após a colheita do trigo (Tabela 03). No centro de cada parcela foi aberta uma trincheira com 50x70x50 cm de largura, comprimento e profundidade, respectivamente, na qual foram realizados três diferentes tipos de amostragem de acordo com os parâmetros a serem avaliados.

Para a análise da densidade do solo, espaço poroso e condutividade hidráulica saturada, foram coletadas amostras indeformadas com cilindros de aço inox de 100 cm³, nas profundidades correspondentes ao centro das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Os cilindros foram untados com óleo lubrificante e introduzidos no solo, verticalmente para a camada de 0-5 cm e horizontalmente para as demais, com auxílio de macaco manual de automóvel, para reduzir a alteração estrutural das amostras. Em cada parcela foram retiradas 3 amostras para a camada de 0-5 cm e 2 amostras para as camadas restantes.

Para a análise de estabilidade dos agregados foram coletadas amostras nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Amostras com umidade de campo foram passadas através de um conjunto de peneiras com malha de 7,93 e 6,35 mm. O material retido na última foi levado ao laboratório e, após secagem ao ar, foi suavemente passado através de um conjunto de peneiras com malha de 6,35 e 4,00 mm, sendo o material retido na última armazenado para posterior análise. Nestas

mesmas profundidades, além das amostras para determinação da estabilidade de agregados, foram coletadas amostras de solo para determinação do pH, Al, H+Al, Ca, C-orgânico e N-total como descrito no item 3.6.

Para as análises químicas foi realizada amostragem simples estratificada nas seguintes profundidades: 0-1, 1-2, 2-4, 4-7, 7-10, 10-20, 20-40 cm. O material orgânico presente na superfície foi retirado manualmente e as amostras coletadas perpendicularmente ao sentido das linhas de semeadura, com auxílio de espátula, sendo a camada amostrada representada por uma área de 0,50 m². As amostras foram homogeneizadas e secas a 60°C em estufa com circulação forçada de ar. Após secagem as amostras foram moídas e o material menor que 1,00 mm foi armazenado, para posterior análise.

3.5. ANÁLISES FÍSICAS

Para análise da distribuição de poros por tamanho, as amostras indeformadas foram saturadas por capilaridade durante 24 horas e colocadas em mesa de tensão ajustada para 0,06 atmosferas. A umidade retida pela amostra sob esta tensão após 30 horas, foi determinada para estimar a microporosidade (MIP) (VOMOCIL, 1965). Após a determinação da MIP as amostras foram novamente saturadas para determinação da condutividade hidráulica saturada (Ks), pelo método de carga constante (KLUTE & DIRKSEN, 1986). Utilizou-se um permeâmetro adaptado (LIMA et al., 1990) para eliminação da água percolada junto à parede do cilindro.

Após a determinação da K_s , as amostras foram secas em estufa a 105°C para determinação da densidade do solo (D_s), através do cálculo da divisão da massa do solo seco pelo volume do cilindro (BLAKE, 1965).

O solo contido no cilindro foi utilizado para determinação da densidade de partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool etílico como líquido penetrante (KHIEL, 1979).

A porosidade total (PT) foi obtida pela fórmula $PT = (1 - D_s/D_p) \times 100$ e a macroporosidade (MAP) pela diferença entre PT e MIP (VOMOCIL, 1965).

A estabilidade de agregados em água foi determinada pelo método de Yoder (YODER, 1936). Utilizou-se três repetições de laboratório, de 25 g de agregados, correspondente a massa seca a 105°C . As amostras foram saturadas lentamente por nebulização e ficaram em repouso durante 15 minutos. Após este período, foram transferidas para a peneira superior de um conjunto constituído pelas malhas de 4,00, 2,00, 1,00 e 0,50 mm, e submetidas a oscilação de 40 ciclos/minuto durante 10 minutos. Após este procedimento, o solo retido em cada peneira foi seco em estufa a 105°C para determinação da distribuição percentual de agregados, com base na massa das classes; a classe $< 0,50$ mm foi obtida por diferença. Os dados obtidos foram utilizados no cálculo do diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados (SCHALLER & STOCKINGER, 1953) segundo a fórmula: $DMG = \text{Exp} [\sum w_i \log x_i / \sum w_i]$, onde: w_i , massa de agregados na classe e x_i , diâmetro médio da classe. O material retido na peneira de 4,00 mm foi homogeneizado e passado em peneira de 0,105 mm para determinação de C-orgânico e N-total como descrito no item 3.6.

3.6. ANÁLISES QUÍMICAS

Nas amostras obtidas nas camadas de 0-1, 1-2, 2-4, 4-7, 7-10, 10-20, 20-40 cm, foram determinados: (i) carbono orgânico através da oxidação com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniaco (ALLISON, 1965); (ii) N-total pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada seguido pela destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do destilado coletado em indicador de ácido bórico com ácido sulfúrico diluído (TEDESCO et al., 1985); (iii) CTC a pH 7,0 utilizando acetato de cálcio 1N pH 7,0 como solução trocadora e determinação do cálcio deslocado por acetato de sódio 1N pH 7,0 por absorção atômica (VAN RAIJ, 1969; CAMARGO et al., 1986); (iv) CTC efetiva através da soma de bases trocáveis e Al; o Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de KCl 1N, e determinados por: titulometria com NaOH 0,025 N para o Al e absorção atômica para o Ca e Mg; enquanto o K foi extraído com solução de Melich 1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) e determinado por fotometria de chama (PAVAN et al., 1992); e (v) pH em CaCl₂ 0,01 M (1/2,5 v/v) (PAVAN et al., 1992).

Nas amostras obtidas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram determinados: pH, Al e Ca, segundo a metodologia descrita anteriormente e H+Al. O H+Al foi extraído com tampão SMP e determinado por potenciometria (PAVAN et al., 1992).

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância dos efeitos dos sistemas e profundidades de amostragem, sobre os parâmetros físicos e químicos do solo, foi realizada seguindo o modelo de delineamento em blocos casualizados com parcela subdividida, com o efeito de profundidade na subparcela. Testou-se a significância dos efeitos simples e da interação pelo teste F.

As médias de tratamentos, referentes às análises químicas e físicas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias referentes a produção de grãos de trigo foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Foram estabelecidas correlações simples entre as variáveis avaliadas. Os coeficientes de correlação foram testados a 1%, 5% e 10% de probabilidade pelo teste t.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que todos os sistemas apresentam a soja e o trigo como culturas comuns, as diferenças observadas entre os parâmetros físicos e químicos avaliados foram atribuídas à presença das culturas de adubação verde, tremoço e aveia, e ao milho nos sistemas de plantio direto, ou ao revolvimento do solo no plantio convencional.

4.1. ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

4.1.1. RELAÇÕES DE MASSA E VOLUME

Todos os sistemas considerados promoveram o aumento da Ds no latossolo roxo que, sob condições naturais (MATA), apresenta baixa Ds (Tabelas 04 e 05). O aumento da Ds em solos cultivados, tem sido atribuído à redução nos teores de matéria orgânica e à pressão exercida pelo tráfego de máquinas e veículos (MACHADO & BRUM, 1978; CINTRA et al., 1983; SIDIRAS & VIEIRA, 1984).

Em ambos os locais a Ds variou com a profundidade (Tabelas 04 e 05). Em Londrina, em todos os sistemas sob cultivo a Ds aumentou com a profundidade até 10 cm, com redução na camada de 20-40, atingindo níveis próximos ao da camada superficial (0-5 cm), exceto no sistema TMMLAV. Em Campo Mourão, a tendência foi a mesma, porém, a redução na camada de 20-40 cm, atingiu os níveis da camada superficial apenas no sistema AVEIA. Esta tendência de aumento da Ds até 20 cm e redução na camada de 20-40 cm, pode ser uma consequência do período em que o solo foi cultivado sob plantio convencional, o que causaria aumento da Ds na camada arável (0-20 cm), com a camada de 20-40 cm sendo afetada com menor intensidade, conforme observado por MACHADO & BRUM (1978) e ABRÃO et al. (1979).

TABELA 04. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e condutividade hidráulica saturada (Ks), em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina, Paraná.

SISTEMAS	Ds (g.cm ⁻³)	PT		MIP %	MAP	Ks (mm.h ⁻¹)
		----- 0-5 cm -----				
CONV	B 1,11 ab	A 65,1 bc	B 39,4 bc	A 25,7 bc	A 61,77 cd	
DIR	B 1,10 bc	A 65,0 bc	B 41,9 ab	A 23,1 cd	A 11,82 d	
AVEIA	AB 1,19 a	AB 62,6 c	A 43,4 a	A 19,2 d	A 11,23 d	
TMMLAV	B 1,01 c	A 68,3 b	A 37,9 c	A 30,4 b	A 256,28 b	
TMML	B 1,12 ab	A 64,4 c	B 41,7 ab	A 22,7 cd	A 81,16 c	
MATA	C 0,76 d	A 75,0 a	B 34,2 d	A 40,8 a	A 589,15 a	
----- 5-10 cm -----						
CONV	A 1,23 a	BC 61,1 bc	A 43,9 a	B 17,2 bc	AB 35,94 c	
DIR	A 1,30 a	B 58,3 c	A 45,2 a	A 13,1 c	A 4,95 c	
AVEIA	A 1,27 a	B 60,3 bc	A 43,9 a	B 16,4 bc	A 22,09 c	
TMMLAV	A 1,22 a	C 61,9 b	A 42,8 a	B 19,1 b	B 164,69 b	
TMML	A 1,28 a	B 59,7 bc	A 44,7 a	B 15,0 bc	B 10,84 c	
MATA	B 0,96 b	B 69,8 a	A 39,4 b	B 30,4 a	B 370,98 a	
----- 10-20 cm -----						
CONV	A 1,24 a	C 59,7 b	A 44,5 a	B 15,2 b	B 14,47 b	
DIR	A 1,29 a	B 59,9 b	A 45,6 a	A 14,3 b	A 3,55 b	
AVEIA	A 1,26 a	AB 61,6 b	A 44,6 a	B 17,0 b	A 25,76 b	
TMMLAV	A 1,23 a	C 61,4 b	A 44,0 a	B 17,4 b	C 24,82 b	
TMML	A 1,25 a	B 60,6 b	A 46,1 a	B 14,5 b	B 3,13 b	
MATA	A 1,06 b	B 66,5 a	A 40,9 b	C 25,6 a	C 92,05 a	
----- 20-40 cm -----						
CONV	AB 1,18 a	AB 63,1 b	A 45,5 a	B 17,6 b	B 11,53 b	
DIR	B 1,15 a	A 64,5 b	A 45,6 a	A 18,9 b	A 15,10 b	
AVEIA	B 1,14 a	A 63,8 b	A 45,5 a	A 18,3 b	A 16,57 b	
TMMLAV	A 1,13 a	B 65,0 ab	B 45,1 a	B 19,9 b	C 4,62 b	
TMML	B 1,11 ab	A 65,5 ab	A 45,3 a	A 20,2 b	B 18,02 b	
MATA	AB 1,02 b	B 68,1 a	A 40,5 b	BC 27,6 a	C 122,89 a	

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

TABELA 05. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e condutividade hidráulica saturada (Ks), em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Campo Mourão, Paraná.

SISTEMAS	Ds (g.cm ⁻³)	PT	MIP %	MAP	Ks (mm.h ⁻¹)
----- 0-5 cm -----					
CONV	C 1,00 bc	A 65,3 bc	B 42,0 abc	A 23,3 bc	A 407,08 b
DIR	C 0,95 c	A 69,1 b	B 38,8 cd	A 30,3 b	A 394,73 b
AVEIA	AB 1,11 a	A 64,2 c	A 43,4 a	A 20,8 c	A 40,82 d
TMMLAV	B 1,06 ab	A 66,3 bc	A 42,6 ab	A 23,7 bc	A 211,49 c
TMML	B 0,94 c	A 69,2 b	B 39,4 bcd	A 29,8 b	A 156,90 c
MATA	C 0,74 d	A 74,7 a	A 35,8 d	A 38,9 a	A 776,94 a
----- 5-10 cm -----					
CONV	AB 1,16 a	BC 61,3 b	AB 45,3 a	B 16,0 b	B 162,83 b
DIR	AB 1,15 a	BC 61,5 b	AB 41,9 a	B 19,6 b	B 186,67 b
AVEIA	A 1,16 a	A 60,8 b	A 44,3 a	A 16,5 b	A 9,26 c
TMMLAV	AB 1,12 a	BC 62,6 b	A 43,4 a	AB 19,2 b	B 120,76 b
TMML	A 1,12 a	B 62,5 b	A 43,3 a	B 19,2 b	A 125,84 b
MATA	BC 0,81 b	AB 72,4 a	A 36,9 b	AB 35,5 a	B 587,31 a
----- 10-20 cm -----					
CONV	A 1,20 a	C 59,3 c	A 46,5 a	B 12,8 c	C 31,56 bc
DIR	A 1,22 a	C 59,6 c	A 45,1 ab	B 14,5 c	C 10,97 bc
AVEIA	A 1,17 ab	A 62,0 bc	A 43,5 ab	A 18,5 bc	A 9,81 c
TMMLAV	AB 1,10 b	AB 64,9 b	A 42,3 b	AB 22,6 b	B 92,85 b
TMML	A 1,15 ab	B 61,5 bc	A 43,9 ab	B 17,6 bc	BC 61,58 bc
MATA	AB 0,86 c	AB 72,2 a	A 37,3 c	AB 34,9 a	C 460,27 a
----- 20-40 cm -----					
CONV	B 1,10 a	AB 63,8 b	A 45,5 a	AB 18,3 b	BC 96,25 b
DIR	B 1,09 a	B 63,3 b	A 44,2 a	B 19,1 b	C 54,02 b
AVEIA	B 1,08 a	A 63,2 b	A 44,1 a	A 19,1 b	A 25,44 b
TMMLAV	A 1,17 a	C 61,4 b	A 44,8 a	B 16,6 b	B 47,13 b
TMML	A 1,13 a	B 63,8 b	A 45,4 a	B 18,4 b	C 14,31 b
MATA	A 0,92 b	B 70,1 a	A 38,9 b	B 31,2 a	D 244,88 a

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Em ambos os locais foram observadas diferenças de Ds entre os sistemas apenas na camada superficial (0-5 cm), exceto para o sistema TMMLAV na profundidade de 10-20 em Campo Mourão, que apresentou menor Ds do que os sistemas com a sucessão soja-trigo (CONV e DIR). Nas demais profundidades os valores da Ds nos sistemas sob cultivo não diferiram entre si, sendo porém superiores à mata nativa.

A redução da Ds na camada arável do solo sob plantio convencional, em relação ao plantio direto, atribuída ao revolvimento do solo, já observada em muito trabalhos comparando esses sistemas (KEMPER & DERPSCH 1981a; SIDIRAS et al., 1982, 1984b; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CASSEL, 1985; DERPSCH et al., 1986), somente ocorreu em relação ao sistema AVEIA. Quando considerados os outros sistemas sob plantio direto, a Ds não diferiu estatisticamente, em relação ao plantio convencional no sistema CONV, ou chegou a ser menor, como no sistema TMMLAV em Londrina.

Apesar do preparo do solo reduzir a Ds da camada arável logo após sua execução, a geometria do espaço poroso produzida usualmente é muito instável e mudanças com o tempo são comuns (CASSEL, 1985). KEMPER & DERPSCH (1981b) e DERPSCH et al. (1992) verificaram que, em latossolo roxo, a Ds aumenta com o tempo desde a última aração, enquanto que o número de macroporos e a permeabilidade diminuem. Esse aumento de Ds pode ser eliminado pelo cultivo subsequente, mas retorna tão logo o solo se reacomode devido a chuvas intensas ou tráfego de máquinas. UNGER & FULTON (1990) observaram que em solo argiloso a Ds na camada de 4-7 cm no

plantio convencional era superior em relação ao plantio direto. Os autores atribuíram o aumento da D_s à rápida reacomodação do solo durante o período de tempo (180 dias) entre a aração e a amostragem, o que foi intensificado pela menor estabilidade estrutural do solo sob plantio convencional.

A maior D_s na camada superficial (0-5 cm) no sistema AVEIA em ambos os locais e no sistema TMMLAV em Campo Mourão tem sido atribuída ao manejo com rolo faca utilizado na cultura da aveia. TORRES et al. (1989) comparando dois métodos diferentes de manejo para a aveia, em latossolo roxo, verificaram que a resistência do solo à penetração na camada de 0-10 cm variou em duas unidades: de 5 impactos/dm, quando a aveia era cortada e retirada da área permanecendo apenas as raízes, para 7 impactos/dm quando a mesma era manejada com rolo faca.

Embora o tremoço, assim como a aveia, também seja manejado com rolo faca, as características de seu sistema radicular parecem contribuir para a redução do efeito compactador desta operação. CINTRA & MIELNICZUK (1983), testando o potencial de desenvolvimento do sistema radicular de diferentes culturas (soja, trigo, colza, tremoço e cevada) em condições de solo compactado artificialmente em laboratório, num latossolo roxo do Rio Grande do Sul, verificaram que o tremoço era a cultura menos afetada pela compactação. Embora uma camada com D_s de $1,30 \text{ g/cm}^3$ tenha sido suficiente para reduzir em 50% o sistema radicular de todas as espécies testadas, o tremoço mostrou a maior capacidade de vencer esta resistência, desenvolvendo raízes através desta camada. Essa

maior agressividade do sistema radicular do tremço diante de condições de solo compactado pode contribuir para a formação de canais que aumentariam a porosidade, reduzindo a D_s .

Alguns autores (PACKER et al. 1984; UNGER & FULTON; 1990) têm atribuído a menor D_s observada na superfície do solo sob plantio direto, quando comparada ao plantio convencional, ao acúmulo de material orgânico normalmente observado no primeiro sistema. Correlações entre o teor de matéria orgânica do solo e a D_s têm demonstrado uma relação inversa (BAUER & BLACK, 1981; SOANE, 1990). Em Londrina, o maior teor de C-orgânico na camada de 0-5 cm no sistema TMMLAV (Figura 02) pode ter contribuído para a menor D_s neste sistema. Em Campo Mourão, como o teor de C-orgânico na mesma camada (0-5 cm) foi pouco afetado pelos diferentes sistemas, o aumento da D_s esteve condicionado à presença da aveia nos sistemas (Figura 02).

Quando comparados os dois locais, o maior teor de C-orgânico no solo em Campo Mourão, em relação à Londrina, parece ser o responsável pela menor D_s em todos os sistemas sob cultivo em Campo Mourão. Os resultados de pesquisa comparando métodos de preparo do solo (plantio convencional, escarificação e plantio direto) sumarizados por DERPSCH et al. (1992) indicam que em latossolos roxos com D_s inferior a $1,20 \text{ g/cm}^3$, problemas de desenvolvimento do sistema radicular não são prováveis. Somente com D_s superior a $1,25 \text{ g/cm}^3$ seria possível haver dificuldades de crescimento das raízes.

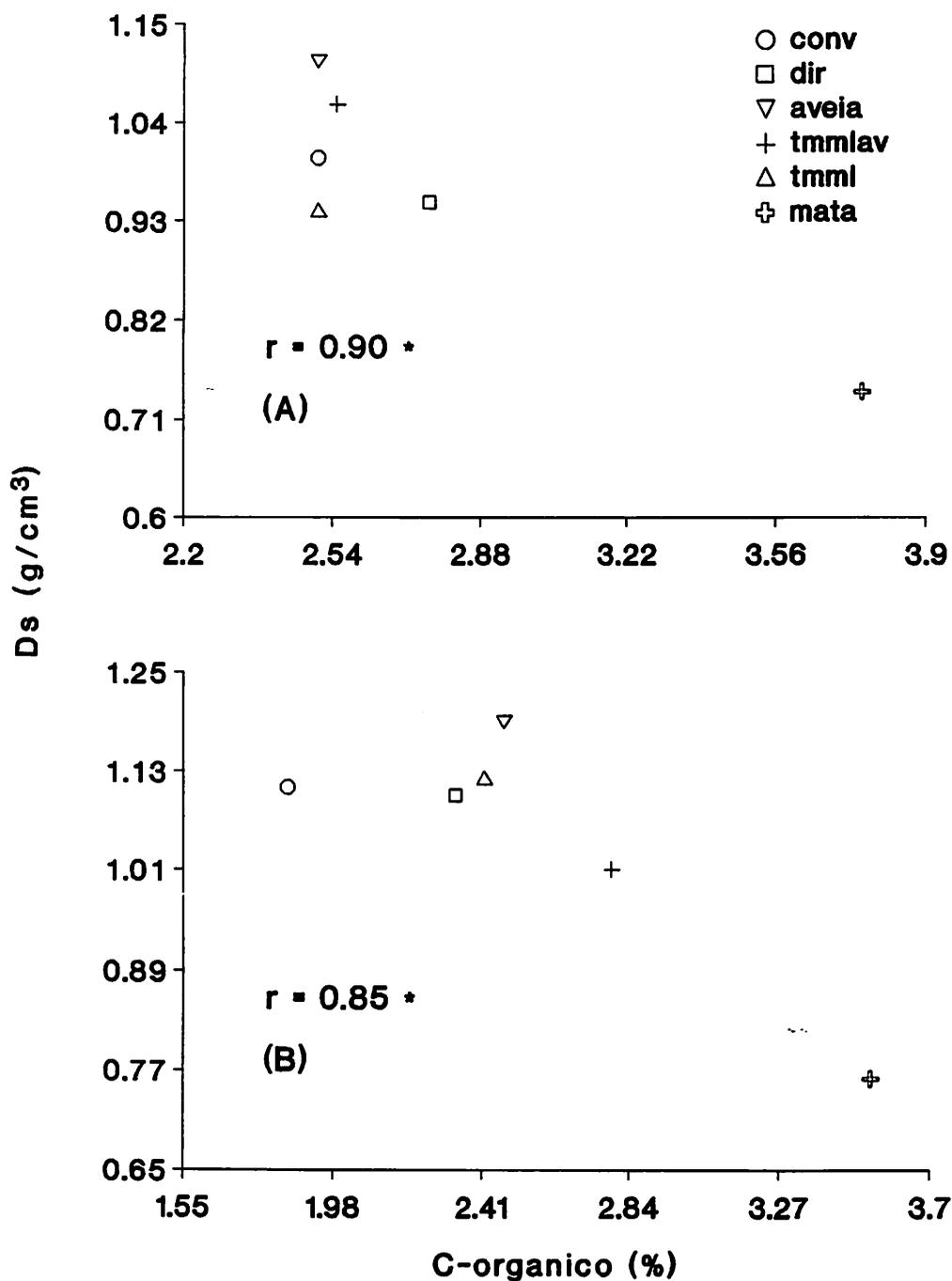


FIGURA 02. Relação entre o teor de C-organico e a densidade do solo (Ds) na camada de 0-5 cm, em Campo Mourao (A) e Londrina (B). (*, $P < 0,05$)

No trabalho de CINTRA & MIELNICZUK (1983), também em latossolo roxo, ficou demonstrado que o sistema radicular da soja não era capaz de se desenvolver através de uma camada de solo com D_s superior a $1,30 \text{ g/cm}^3$. Os resultados obtidos no presente estudo indicam que em Campo Mourão este nível ainda não foi atingido, possivelmente como resultado da maior frequência no preparo do solo, mesmo sob plantio direto, e do maior teor de carbono orgânico observado neste local.

Em Londrina, a D_s atinge valores máximos nos sistemas sob plantio direto, chegando até a $1,30 \text{ g/cm}^3$, no sistema DIR. Decorridos quatro anos desde a escarificação realizada no experimento em 1989 após a cultura da soja, verifica-se a necessidade desta operação ser realizada novamente, para evitar o risco da redução no rendimento das culturas, devido ao impedimento físico ao desenvolvimento radicular em profundidade das culturas sob plantio direto. Vários trabalhos, comparando os sistemas de plantio direto e plantio convencional, têm demonstrado que as culturas conduzidas sob plantio direto sofrem maior restrição ao desenvolvimento do sistema radicular, do que culturas conduzidas sob plantio convencional (BAEUMER & BAKERMANS, 1973; CANNELL, 1981; SIMONS, 1992). Em geral, sistemas de cultivo conservacionista, como o plantio direto, favorecem um maior crescimento do sistema radicular na camada superficial, imediatamente abaixo dos resíduos orgânicos (LAL, 1989). Tem sido observado que o aumento da D_s aumenta o diâmetro das raízes (LOGSDON et al., 1987), mas reduz o comprimento e a taxa de alongação das mesmas, o que pode conduzir

a um aumento da ramificação e densidade de raízes (VOORHEES et al., 1975). Embora um aumento no grau de ramificação e na densidade de raízes possa ser desejável, sua concentração em um volume limitado de solo pode não ser suficiente para suprir as necessidades hídricas e nutricionais das plantas (VOORHEES et al., 1975).

4.1.2. EFEITOS SOBRE O ESPAÇO POROSO E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA

A distribuição e o volume total de poros foram influenciados pela variação da D_s . A MIP aumentou, porém foi menos afetada, enquanto a PT e MAP diminuíram com o aumento da D_s . Em ambos os locais todos os sistemas sob cultivo apresentaram PT e MAP inferior e MIP superior à mata natural (Tabelas 04 e 05).

Em Londrina o sistema TMMLAV apresentou as maiores PT e MAP e menor MIP até a profundidade de 10 cm (Tabela 04), embora diferenças estatísticas fossem observadas apenas na camada de 0-5 cm. Em Campo Mourão ocorreram diferenças entre sistemas, quanto à porosidade, nas camadas de 0-5 e 10-20 cm (Tabela 05). Isso pode ter ocorrido devido à maior frequência de preparo do solo, já que as diferenças se concentraram na camada superficial mais sujeita às práticas de manejo e na camada que recebe o material orgânico da superfície quando do revolvimento. Na camada superficial, no sistema AVEIA, ocorreu a maior redução da PT e MAP e maior elevação da MIP, embora não diferisse estatisticamente dos sistemas CONV e TMMLAV. A ausência de revolvimento no sistema DIR, que sempre foi conduzido sob plantio direto desde a implantação do experimento,

portanto há 7,5 anos, e a presença do tremoço na ausência da aveia no sistema TMML, favoreceram a melhoria das condições físicas, em relação aos outros sistemas, representada pela menor D_s e MIP e maior PT e MAP entre os sistemas estudados.

A relação da D_s , PT, MAP e MIP com a K_s são ilustradas nas Figuras 03 e 04. Em ambos os locais a K_s teve relação inversa com a D_s e a MIP e direta com a MAP e PT e, dentro dos limites estudados, a relação que melhor descreveu as relações foi a quadrática. A relação direta entre a K_s e a MAP é bem estabelecida (LOGSDON et al., 1990), já que os macroporos são mais eficientes na transmissão de água no solo. Isto ocorre porque, devido ao seu tamanho, o movimento de água em macroporos não segue a teoria da capilaridade, o que permite o fluxo ao longo da parede de um poro não completamente preenchido com líquido (BEVEN & GERMANN, 1982).

Em ambos os locais a K_s foi maior na mata nativa em relação aos sistemas sob cultivo, independente da profundidade (Tabelas 04 e 05). Nos sistemas sob cultivo a K_s foi maior em Campo Mourão em relação a Londrina, refletindo a menor D_s observada no primeiro. Em Londrina, a K_s diferiu entre os sistemas sob cultivo nas camadas até 10 cm de profundidade, revelando menores valores com a profundidade, principalmente nos sistemas DIR e AVEIA. Na camada superficial o sistema TMMLAV apresentou a maior K_s seguido pelo sistema TMML, o que poderia evidenciar uma contribuição do sistema radicular do tremoço na formação de canais contínuos mais eficientes na transmissão de água através do solo, conforme evidenciado por KEMPER & DERPSCH (1981b). Na camada de 5-10 cm, o sistema TMMLAV continuou a apresentar a maior K_s , com os demais sistemas não diferindo entre si, embora, em valores absolutos, fosse menor nos sistemas sob plantio direto do que no sistema CONV.

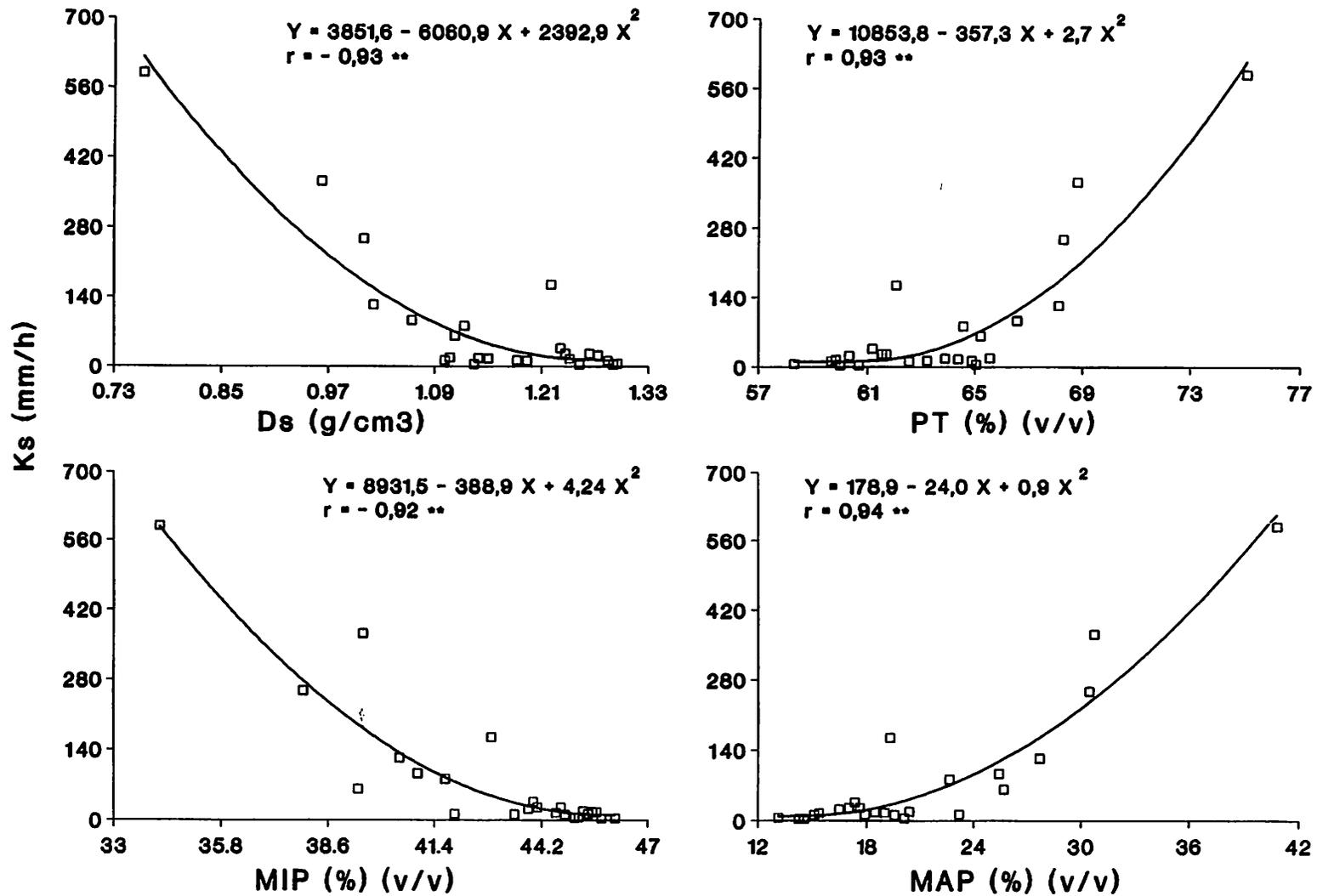


FIGURA 03. Relação entre densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP) com a condutividade hidráulica saturada (K_s), em Londrina, Paraná.

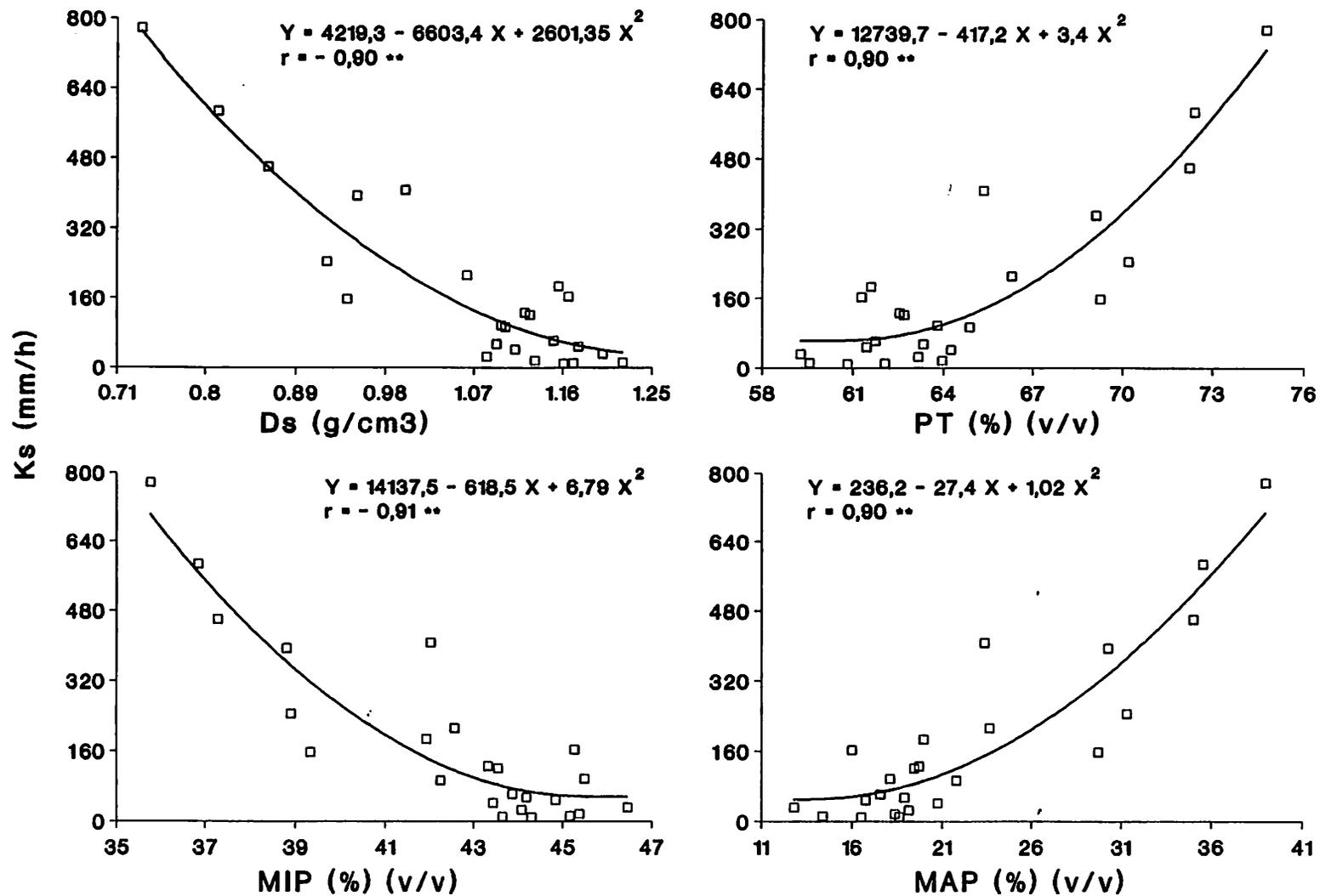


FIGURA 04. Relação entre densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP) com a condutividade hidráulica saturada (K_s), em Campo Mourao, Parana.

Em Campo Mourão, a Ks diferiu entre os sistemas sob cultivo até 20 cm de profundidade. Em todos os sistemas a Ks foi reduzida com a profundidade, exceto no sistema AVEIA, onde a Ks não variou com a profundidade, apresentando novamente os menores valores observados. Na camada superficial, a Ks foi maior nos sistemas CONV e DIR, demonstrando que a ausência de cultivo por 7,5 anos no sistema DIR favoreceu a formação e manutenção de macroporos contínuos, mais eficientes na transmissão de água no solo, o que, nas condições deste solo equivaleu à Ks proporcionada pelo revolvimento do solo no sistema CONV. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, todos os sistemas sob cultivo apresentaram Ks igual entre si porém superior ao sistema AVEIA. Apesar disto, SIDIRAS & ROTH (1987) observaram que a taxa de infiltração, medida tanto por anéis concêntricos, quanto utilizando simulador de chuva, foram maiores sob a aveia, quando comparado a outras culturas (pousio, tremoço e trigo), o que foi significativamente correlacionado com a maior quantidade de palha sobre o solo nesta cultura.

De forma geral, observa-se que a utilização agrícola do solo, promove a eliminação dos condutos de formação natural, reduzindo consideravelmente os valores da Ks, o que permite afirmar que sistemas que favoreçam a manutenção ou melhoria da estrutura do solo, reduzindo sua Ds e aumentando principalmente a MAP, auxiliariam na melhoria das taxas de infiltração de água, semelhante ao que foi observado por BELTRAME et al. (1981).

4.1.3. EFEITO DOS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO

Os resultados apresentados na Tabela 06, comparando a distribuição das classes de agregados e o índice DMG (diâmetro médio geométrico), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, demonstram que o principal efeito dos sistemas foi observado na profundidade de 0-10 cm. Em ambos os locais, de modo geral, houve predomínio da classe de agregados > 4,00 mm, exceto no sistema CONV em Londrina, onde os agregados < 4,00 mm predominaram, refletindo a degradação da estrutura proporcionada pelo sistema de preparo convencional do solo por 19 anos consecutivos. Os sistemas sob cultivo, em relação à mata nativa, reduziram a estabilidade em água dos agregados >4,00 mm, o que fez com que aumentasse a percentagem dos agregados nas classes menores (Tabela 06).

Em Campo Mourão, sob condição de mata nativa, o solo possui 97,6% dos agregados estáveis em água nas classes >4,00 mm, enquanto que nos sistemas sob cultivo os percentuais foram menores, chegando a ser reduzido a 70,4% no sistema CONV, onde a estabilidade foi mais afetada. Quando se consideram os agregados < 4,00 mm, ocorre o inverso, com 29,6% no sistema CONV e 2,4% na mata nativa. Em Londrina o efeito depressivo do cultivo sobre a estabilidade dos agregados > 4,00 mm foi mais expressivo, com uma redução percentual destes agregados de 95,2% na mata nativa, para 35,7% no sistema CONV. Nos agregados < 4,00 mm o sistema CONV apresentou 64,3%, contra apenas 4,8% na mata nativa. Esses resultados demonstram que o cultivo do solo após o desmatamento provocou o fracionamento dos agregados maiores em unidades menores.

TABELA 06. Distribuição percentual de agregados e diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

SISTEMAS	classes de agregados (mm)						DMG
	> 4,00	4,00-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	< 0,50	< 4,00	
Londrina							
----- 0-10 cm -----							
CONV	A 35,7 c	A 17,9 a	A 19,5 a	A 15,1 a	A 11,8 a	A 64,3 a	A 1,93 c
DIR	A 54,9 b	B 12,1 ab	B 13,1 b	A 10,9 ab	A 9,1 a	B 45,1 b	A 2,55 bc
AVEIA	A 60,8 b	B 11,1 b	B 10,9 b	B 8,8 ab	B 8,4 a	B 39,2 b	A 2,81 b
TMMLAV	A 58,9 b	B 10,9 b	B 11,1 b	B 9,6 ab	B 9,4 a	B 41,1 b	A 2,69 b
TMML	A 67,4 b	B 10,4 b	B 8,8 b	B 7,1 b	B 6,3 ab	B 32,6 b	A 3,18 b
MATA	A 95,2 a	B 2,8 c	A 0,7 c	A 0,4 c	A 0,9 b	B 4,8 c	A 4,88 a
----- 10-20 cm -----							
CONV	A 32,7 b	A 20,0 a	A 21,6 a	A 15,8 a	A 9,9 a	A 67,3 a	A 1,98 b
DIR	B 35,3 b	A 20,7 a	A 21,5 a	A 14,0 a	A 8,6 ab	A 64,7 a	A 2,13 b
AVEIA	B 27,9 b	A 20,9 a	A 23,0 a	A 16,0 a	A 12,2 a	A 72,1 a	B 1,79 b
TMMLAV	B 21,5 b	A 20,0 a	A 25,4 a	A 19,8 a	A 13,3 a	A 78,5 a	B 1,57 b
TMML	B 27,5 b	A 20,4 a	A 22,7 a	A 17,5 a	A 11,9 a	A 72,5 a	B 1,80 b
MATA	B 83,9 a	A 10,1 b	A 3,1 b	A 1,4 b	A 1,5 b	A 16,1 b	B 4,39 a
----- Campo Mourao -----							
----- 0-10 cm -----							
CONV	A 70,4 b	A 12,4 a	A 6,1 a	A 4,3 a	A 6,8 ab	A 29,6 a	A 3,36 c
DIR	A 71,8 b	B 9,1 ab	A 6,0 a	A 5,3 a	A 7,9 a	A 28,2 a	A 3,28 c
AVEIA	A 79,2 b	B 7,9 ab	B 4,7 ab	A 3,6 ab	A 4,6 abc	B 20,8 a	A 3,82 bc
TMMLAV	A 79,7 b	B 7,9 ab	B 4,8 ab	B 4,0 ab	B 3,7 bc	B 20,3 a	A 3,87 bc
TMML	A 86,1 ab	B 5,5 bc	B 3,0 ab	B 2,5 ab	B 2,9 bc	B 13,9 ab	A 4,23 ab
MATA	A 97,6 a	A 1,0 c	A 0,1 b	A 0,1 b	A 1,1 c	A 2,4 b	A 4,96 a
----- 10-20 cm -----							
CONV	A 69,4 b	A 13,9 a	A 6,7 a	A 4,8 a	A 5,2 a	A 30,6 a	A 3,47 b
DIR	A 65,5 b	A 13,6 a	A 6,8 a	A 6,2 a	A 7,9 a	A 34,5 a	A 3,10 b
AVEIA	B 66,1 b	A 13,5 a	A 8,6 a	A 5,7 a	A 6,1 a	A 33,9 a	B 3,25 b
TMMLAV	B 62,5 b	A 14,2 a	A 9,5 a	A 7,4 a	A 6,4 a	A 37,5 a	B 3,05 b
TMML	B 66,0 b	A 13,1 a	A 9,0 a	A 6,6 a	A 5,4 a	A 34,0 a	B 3,29 b
MATA	A 97,6 a	A 1,4 b	A 0,2 b	A 0,2 b	A 0,5 b	A 2,4 b	A 5,03 a

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Essa redução da estabilidade de agregados com o cultivo tem sido atribuída ao fracionamento mecânico dos agregados maiores, proporcionado pela ação dos implementos de preparo do solo (ROVIRA & GREACEN, 1957; GREGORICH et al., 1989), associado à exposição e oxidação do material orgânico, principal responsável pela formação e estabilização dos macroagregados (HARRIS et al. 1966; TISDALL & OADES 1982).

Na profundidade de 10-20 cm houve redução na estabilidade de agregados em relação à profundidade de 0-10 cm em todos os sistemas sob cultivo, que variou em intensidade de acordo com o local e o sistema considerado (Tabela 06). Em Campo Mourão, houve redução da estabilidade dos agregados > 4,00 mm em todos os sistemas, exceto na MATA, porém essa redução foi significativa apenas nos sistemas onde a adubação verde de inverno estava presente (AVEIA, TMMLAV e TMML). Deste modo, embora o percentual de agregados < 4,00 mm tenha aumentado com a profundidade em todos os sistemas sob cultivo, este aumento foi significativo apenas nestes sistemas. Em Londrina, houve redução da estabilidade dos agregados > 4,00 mm em todos os sistemas, exceto no sistema CONV, onde a mesma não foi significativa. Conseqüentemente, o aumento da percentagem de agregados < 4,00 mm com a profundidade não foi significativo apenas neste sistema. Assim como em Campo Mourão, as maiores reduções de estabilidade dos agregados > 4,00 mm foram observadas nos sistemas onde a adubação verde de inverno estava presente.

Na profundidade de 0-10 cm, considerando o sistema CONV como a condição de maior deteriorização da estrutura, em termos da estabilidade de agregados, observa-se que a adubação verde de

inverno, favoreceu a recuperação da estabilidade, chegando o sistema TMML em Campo Mourão a atingir os níveis verificados na mata nativa.

A representação da distribuição dos agregados através do índice DMG permitiu uma melhor distinção entre os sistemas (Tabela, 06). Em ambos os locais o revolvimento do solo no sistema CONV e o plantio direto com a sucessão soja-trigo no sistema DIR, proporcionaram os menores valores de DMG observados (Tabela 06), não diferindo estatisticamente entre si. O aumento da estabilidade dos agregados $> 4,00$ mm e consequente redução do percentual dos agregados $< 4,00$ mm, na camada superficial (0-10 cm), proporcionado pela introdução da adubação verde de inverno se traduziu em aumento do DMG, que atingiu valores absolutos máximos no sistema TMML em ambos os locais.

Em Londrina, o aumento do DMG proporcionado pela presença dos adubos verdes não foi suficiente para diferenciar os sistemas sob plantio direto, porém, tornou o DMG nestes sistemas maior do que no sistema CONV. Em Campo Mourão, devido a maior estabilidade de agregados, observada em relação a Londrina, apenas o sistema TMML diferiu dos sistemas sob a sucessão soja-trigo (CONV e DIR). Estes resultados são concordantes com os observados por ROTH et al. (1991) mostrando que independente do sistema de manejo do solo (plantio convencional, escarificação e plantio direto), o sistema de rotação de culturas soja-tremoço-milho-trigo apresentou maior DMP (diâmetro médio ponderado) (2,8 mm) do que os sistemas de sucessão soja-trigo (2,2 mm) ou milho-tremoço (2,2 mm). SMETTEM et al. (1992) verificaram que, sob plantio direto, a percentagem de

agregados > 1,00 mm, remanescentes da classe > 4,00 mm, após o peneiramento úmido, era de 23,8%, 20,4% e 14,1% para as sucessões trigo-pastagem, trigo-tremoço e trigo contínuo, respectivamente, enquanto que a percentagem de agregados < 0,25 mm perdidos após o mesmo procedimento era de 53,2%, 53,0%, e 75,0%, respectivamente para as mesmas sucessões, indicando que o tremoço teria efeito semelhante à pastagem na recuperação da estabilidade estrutural do solo. A eficácia das pastagens na recuperação de solos com propriedades físicas degradadas é bem estabelecida (HARRIS et al., 1966; LOW, 1972; TISDALL et al., 1978; TISDALL & OADES 1980a; 1980b; 1982; TIESSEN et al., 1982).

Em ambos os locais os sistemas CONV, DIR e MATA não apresentaram diferenças estatísticas no DMG, quando foram comparadas as profundidades; entretanto, nos sistemas onde a adubação verde estava presente (AVEIA, TMMLAV e TMML) o DMG diminuiu com a profundidade (Tabela 06). Isto foi reflexo do aumento do DMG proporcionado pela adubação verde na camada de 0-10 cm, já que na camada de 10-20 cm o DMG nos sistemas sob cultivo não diferiu entre si.

4.1.3.1. RELAÇÃO DOS TEORES DE C-ORGÂNICO E N-TOTAL NO SOLO E NOS AGREGADOS > 4,00 MM COM A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO

Os teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm são apresentados na Tabela 07. Em Londrina, os teores de C-orgânico e N-total nos agregados > 4,00 e no solo foram superiores na mata nativa em relação aos sistemas sob cultivo,

exceto para o teor de C-orgânico no solo na profundidade de 10-20, onde os sistemas sob cultivo não diferiram em relação à mata nativa. Os teores de C-orgânico e N-total nos agregados > 4,00 mm foram menores na profundidade de 10-20 cm em todos os sistemas, exceto para o N-total nos sistemas CONV e DIR, e para o C-orgânico no sistema CONV. Embora os teores de C-orgânico e N-total no solo e nos agregados > 4,00 mm não diferissem entre os sistemas sob cultivo, eles foram diretamente correlacionados com o DMG, independente da profundidade (Tabela 08), exceto para o C-orgânico no solo na profundidade de 10-20 cm, corroborando a importância dos componentes orgânicos na estabilidade estrutural do solo observada por vários autores (HARRIS et al., 1966; TISDALL & OADES, 1982; CHANEY & SWIFT, 1984; OADES, 1984; BOYLE et al., 1989).

Quando se compara os teores de C-orgânico e N-total nos agregados > 4,00 mm com àqueles no solo (Tabela 07), em alguns casos (por exemplo, o C-orgânico e N-total no sistema TMML, na profundidade de 0-10 cm, em ambos os locais) observa-se maiores valores absolutos para os primeiros. Este acúmulo de matéria orgânica em macroagregados em relação ao solo tem sido verificado por vários estudos (TISDALL & OADES, 1980b; DORMAAR, 1983, 1984; ELLIOT, 1986; CARTER, 1992; SMETTEM et al., 1992), e é atribuído às melhores condições de aeração e porosidade oferecidas pelos microhabitats neles desenvolvidos, o que favorece a proliferação e desenvolvimento de microrganismos decompositores (PAUL & CLARK, 1989; DICK, 1992).

TABELA 07. Teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

SISTEMAS	Londrina				Campo Mourão			
	C-org (%)		N-total (%)		C-org (%)		N-total (%)	
	> 4,00	solo	> 4,00	solo	> 4,00	solo	> 4,00	solo
----- 0-10 cm -----								
CONV	A 1.84 b	A 1.82 b	A 0.174 b	A 0.182 b	3.23	A 2.44 b	A 0.155 b	A 0.180 b
DIR	A 2.06 b	A 2.08 b	A 0.185 b	A 0.182 b	2.96	A 2.34 b	A 0.157 b	A 0.177 b
AVEIA	A 2.04 b	A 2.06 b	A 0.215 b	A 0.177 b	2.71	A 2.30 b	A 0.154 b	A 0.178 b
TMMLAV	A 1.96 b	A 2.27 b	A 0.192 b	A 0.192 b	2.20	A 2.29 b	A 0.149 b	A 0.192 b
TMML	A 2.23 b	A 2.00 b	A 0.200 b	A 0.179 b	2.37	A 2.25 b	A 0.157 b	A 0.188 b
MATA	A 3.05 a	A 2.80 a	A 0.352 a	A 0.356 a	2.81	A 3.16 a	A 0.227 a	A 0.331 a
----- 10-20 cm -----								
CONV	A 1.93 b	A 1.77 a	A 0.167 b	A 0.173 a	2.76	B 2.15 a	A 0.144 a	B 0.154 ab
DIR	B 1.56 b	B 1.63 a	A 0.163 b	B 0.138 b	2.49	B 1.87 a	B 0.124 a	B 0.119 b
AVEIA	B 1.53 b	B 1.43 a	B 0.156 b	B 0.132 b	2.16	B 1.84 a	B 0.126 a	B 0.148 ab
TMMLAV	B 1.50 b	B 1.51 a	B 0.158 b	B 0.130 b	1.94	B 1.84 a	A 0.134 a	B 0.151 ab
TMML	B 1.50 b	B 1.44 a	B 0.150 b	B 0.131 b	1.90	B 1.89 a	A 0.142 a	B 0.148 ab
MATA	B 2.57 a	B 1.61 a	B 0.240 a	B 0.203 a	2.08	B 1.94 a	B 0.146 a	B 0.155 a

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Em Campo Mourão, contrariamente ao observado em Londrina, apenas o teor de N-total nos agregados > 4,00 mm e no solo, na profundidade de 0-10 cm, se correlacionou positivamente com o DMG (Tabela 08). Esse efeito do nitrogênio sobre a agregação do solo esta relacionado à sua influência direta sobre a atividade microbiológica. Em geral, o N representa a porção ativa e dinâmica da matéria orgânica, de modo que pequenas variações no seu teor, proporcionadas pelo manejo, tem reflexo direto sobre a atividade microbiológica e conseqüentemente na estabilidade de agregados, sendo assim um melhor indicador da estabilidade estrutural do solo (CARTER, 1992).

TABELA 08. Coeficientes de correlação simples entre os teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm e o diâmetro médio geométrico (DMG), após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de cultura em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

	Londrina				Campo Mourão			
	— C-org (%) — > 4,00 solo		— N-total (%) — > 4,00 solo		— C-org (%) — > 4,00 solo		— N-total (%) — > 4,00 solo	
	----- 0-10 cm -----							
DMG	0,98 **	0,91 *	0,96 **	0,91 *	-0,37 ns	0,72 ns	0,81 *	0,86 *
	----- 10-20 cm -----							
DMG	0,94 **	0,28 ns	0,99 **	0,87 *	-0,11 ns	0,24 ns	0,63 ns	0,41 ns

** , * , e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

4.1.3.2. RELAÇÃO DO pH E DAS CONCENTRAÇÕES DE Al, H+Al E Ca COM A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO

Na Tabela 09 são apresentados os valores de pH, Al, H+Al e Ca, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, em Londrina e Campo Mourão. Em Londrina, na profundidade de 0-10 cm, o pH e o Ca foram maiores na mata nativa, embora o pH não diferisse em relação ao sistema DIR, e o Ca diferisse apenas em relação aos sistemas CONV e TMML. No sistema TMML a concentração de Al foi maior do que nos sistemas com a sucessão soja-trigo (CONV e DIR) e na mata, enquanto que a acidez potencial foi maior apenas em relação à mata nativa. Com a profundidade houve redução de pH e aumento da concentração de Al e H+Al apenas na mata nativa, enquanto o Ca diminuiu na mata e nos sistemas AVEIA e TMMLAV. A única diferença entre os sistemas na profundidade de 10-20 cm ocorreu na concentração de Al nos sistemas DIR e TMML, sendo maior no segundo.

TABELA 09. Valores de pH, Al, H+Al e Ca, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

	Londrina				Campo Mourão			
	pH	Al	H+Al meq/100g	Ca	pH	Al	H+Al meq/100g	Ca
SISTEMAS	----- 0-10 cm -----							
CONV	A 5,07 b	A 0,03 b	A 5,24 ab	A 5,16 b	A 4,55 b	A 0,19 b	A 7,22 b	A 4,02 ab
DIR	A 5,25 ab	A 0,02 b	A 4,79 ab	A 7,64 ab	A 5,12 a	B 0,06 b	B 5,48 b	A 5,27 a
AVEIA	A 5,09 b	A 0,08 ab	A 5,02 ab	A 6,30 ab	A 4,99 ab	A 0,13 b	A 5,94 b	A 4,64 ab
TMMLAV	A 5,09 b	A 0,10 ab	A 5,51 ab	A 6,58 ab	A 4,87 ab	B 0,18 b	B 6,07 b	A 4,11 ab
TMML	A 4,76 b	A 0,16 a	A 6,15 a	A 5,26 b	A 4,79 ab	B 0,24 b	A 6,36 b	A 2,54 bc
MATA	A 6,02 a	B 0,00 b	B 3,86 b	A 9,97 a	A 3,84 c	A 1,74 a	A 11,67 a	A 0,29 c
	----- 10-20 cm -----							
CONV	A 4,99 a	A 0,05 ab	A 5,48 a	A 5,05 a	A 4,49 a	A 0,22 b	A 6,97 b	B 3,08 a
DIR	A 5,15 a	A 0,02 b	A 4,49 a	A 6,85 a	B 4,54 a	A 0,26 b	A 6,57 b	B 2,67 a
AVEIA	A 4,82 a	A 0,11 ab	A 5,12 a	B 5,26 a	B 4,51 a	A 0,26 b	A 6,80 b	B 2,87 a
TMMLAV	A 5,04 a	A 0,13 ab	A 5,07 a	B 5,34 a	B 4,46 a	A 0,38 b	A 7,05 b	B 2,86 a
TMML	A 4,71 a	A 0,14 a	A 5,49 a	A 4,79 a	B 4,36 a	A 0,41 b	A 7,01 b	B 1,21 ab
MATA	B 5,45 a	A 0,09 ab	A 4,84 a	B 5,28 a	A 3,82 b	B 1,53 a	B 10,07 a	B 0,11 b

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Em Campo Mourão, na profundidade de 0-10 cm, contrariamente ao observado em Londrina, o pH na mata nativa foi menor em relação aos sistemas sob cultivo, entre os quais, apenas o sistema DIR diferiu do sistema CONV, sendo menor no segundo. Consequentemente, a concentração de Al e H+Al na mata nativa foi maior do que nos sistemas sob cultivo, sem que os mesmos diferissem entre si. A concentração de Ca, entre os sistemas sob cultivo, diferiu apenas entre os sistemas DIR e TMML, sendo maior no primeiro, de modo que com exceção do último, todos os sistemas sob cultivo apresentaram valores superiores aos observados na mata nativa. Com a profundidade houve redução de pH apenas nos sistemas sob plantio direto (DIR, AVEIA, TMMLAV e TMML), e da concentração de Ca em todos os sistemas. A concentração de Al aumentou com a profundidade nos sistemas DIR, TMMLAV e TMML, enquanto que a de H+Al, apenas nos sistemas DIR e TMMLAV. Por outro lado, as concentrações tanto de Al quanto de H+Al, foram reduzidas com a profundidade na mata nativa.

Dentro da profundidade de 10-20 cm, o pH continuou a ser menor na mata nativa em relação aos sistemas sob cultivo, que não diferiram entre si; relacionando-se diretamente com as concentrações de Al e H+Al, que foram maiores na mata nativa. Analogamente, a concentração de Ca foi maior nos sistemas sob cultivo, em relação à mata nativa, com exceção do sistema TMML, que não diferiu da mesma.

É interessante notar que nos sistemas sob plantio direto o pH e o Ca diminuíram, enquanto o Al e a acidez potencial aumentaram, com a presença do tremoço e do milho, embora de forma significativa apenas para o Al em Londrina e para o Ca em Campo Mourão. A liberação de prótons durante o processo de mineralização dos resíduos orgânicos (ROTH et al., 1991) associada àquela inerente ao processo de fixação biológica (MARSCHNER & RÖMHELD, 1983) e a maior lixiviação de nitratos (COVENTRY & SLATTERY, 1991) tem sido indicadas como as causas da redução do pH em solos onde o tremoço é cultivado. COVENTRY & SLATTERY (1991) observaram que a neutralização da acidez proporcionada por sistemas constituídos por trigo contínuo, trigo-tremoço e tremoço contínuo, exigia a aplicação de 161, 203 e 263 Kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de CaCO₃, respectivamente, evidenciando que, na presença do tremoço, a acidificação é mais intensa. Deve-se considerar, ainda, que este efeito pode estar associado à redução de pH proporcionada pela adubação do milho com sulfato de amônio, já que resultados neste sentido são bastante comuns (BLEVINS et al., 1977; BLEVINS et al., 1983; CASTRO et al., 1987).

As correlações entre os valores de pH, Al, H+Al e Ca com o DMG são apresentadas na Tabela 10. Em Londrina, quando considerados todos os sistemas, houve relação direta entre o pH e o DMG, em ambas as profundidades, e entre a concentração de Ca e o DMG na profundidade de 0-10 cm. Nesta mesma profundidade, quando foram considerados apenas os sistemas sob plantio direto, a correlação do DMG com o pH e a concentração de Ca passou a ser inversa, enquanto a correlação com a concentração de Al passou a ser direta. A acidez potencial não apresentou efeito significativo sobre o DMG em ambas as profundidades.

TABELA 10. Coeficientes de correlação simples entre os parâmetros químicos pH, Al, H+Al e Ca, com o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

PARÂMETROS QUÍMICOS	Londrina		Campo Mourão	
	systemas ¹ n:6	direto ² n:4	systemas n:6	direto n:4
	----- 0-10 cm -----			
pH	0,76 *	-0,98 **	-0,77 *	-0,96 **
Al	-0,21 ns	0,92 *	0,86 **	0,96 **
H+Al	-0,59 ns	0,86 ns	0,80 *	1,00 ***
Ca	0,80 *	-0,97 **	-0,93 ***	-0,92 *
	----- 10-20 cm -----			
pH	0,83 **	0,35 ns	-0,96 ***	-0,49 ns
Al	-0,19 ns	-0,88 ns	0,96 ***	0,10 ns
H+Al	-0,37 ns	-0,66 ns	0,98 ***	0,13 ns
Ca	0,01 ns	0,78 ns	-0,81 **	-0,65 ns

***, **, *, ns, significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente, pelo teste t. ¹ análise de correlação simples considerando todos os sistemas. ² análise de correlação simples considerando apenas os sistemas sob plantio direto. ³ número de médias consideradas na correlação.

Em Campo Mourão, considerando todos os sistemas, o DMG foi inversamente relacionado com o pH e com a concentração de Ca, e diretamente relacionado com as concentrações de Al e H+Al, em ambas profundidades. Quando considerados apenas os sistemas sob plantio direto, na profundidade de 0-10 cm, as correlações mantiveram a mesma tendência, com melhoria dos coeficientes para o pH, Al e H+Al. O efeito de características químicas sobre a estabilidade do solo tem sido avaliado em vários estudos. ROTH et al. (1986), verificaram efeito direto da elevação do pH e da concentração de Ca, sobre a estabilidade de agregados em latossolo roxo cultivado com cafeeiros. ROTH et al. (1991), analisando a relação entre fatores químicos e a agregação em latossolo roxo, verificaram a mesma tendência para o pH e as concentrações de Ca e de Ca+Al. Os resultados de ambos trabalhos concordam com os observados em Londrina, quando considerados todos os sistemas.

A alteração do pH pode apresentar efeitos bastante diversos sobre a estabilidade de agregados em latossolo roxo. O aumento de pH após a calagem proporciona a mudança das cargas variáveis, levando a cargas predominantemente negativas, como resultado do efeito combinado da elevação da carga negativa da superfície das caulinitas com a redução da carga positiva dos óxidos de Fe e de Al, com conseqüente repulsão entre a caulinita e os óxidos, o que proporciona a dispersão das argilas (ROTH et al., 1986; ROTH & PAVAN, 1991; CASTRO FILHO & LOGAN, 1991; PAVAN & ROTH, 1992), conforme postulado por TAMA & EL-SWAIFY (1978) e EL-SWAIFY (1980).

Essa repulsão pode ser compensada, a médio e longo prazo, pelo aumento da atividade biológica do solo, onde os produtos da mineralização podem levar à estabilização das partículas (ROTH et al., 1986). Por outro lado, o aumento do pH poderia aumentar a interação da matéria orgânica com as argilas do solo e promover a interligação através de pontes de cátions, aumentando a floculação e agregação (ROTH et al., 1986; CASTRO FILHO & LOGAN, 1991).

O efeito positivo da elevação do pH e da concentração de Ca sobre o DMG, em Londrina, quando considerados todos os sistemas, e negativo, quando considerados os sistemas sob plantio direto, em Londrina e, em ambas as situações, em Campo Mourao (Tabela 10), pode estar relacionado à química do Ca em solos com cargas variáveis. Os sítios de troca de cátions destes solos, principalmente os grupos ácidos da matéria orgânica, são dependentes de pH e apresentam alta seletividade para o íon Ca (LOYOLA & PAVAN, 1989). O aumento do pH pela calagem, até próximo a 6,0, causa aumento nas cargas negativas do solo e, conseqüentemente na adsorção de Ca, sem alterações pronunciadas na concentração de Ca na solução do solo (PAVAN, 1992). Após a saturação dos sítios de troca de cátions ($\text{pH} > 6,0$), porém, ocorre um rápido aumento na concentração de Ca na solução do solo, com reflexo direto na estabilidade do solo, pela sua participação nas pontes entre a matéria orgânica e as argilas do solo. Isto explica o comportamento diferenciado do Ca sobre a estabilidade nos solos sob mata natural. Em Campo Mourão, onde o pH foi menor e

consequentemente a concentração de Ca foi menor e de Al maior, em relação a Londrina, o Al foi o principal responsável pela estabilidade do solo. Em Londrina, devido à ausência do Al, em pH próximo a 6,0, o Ca passou a desempenhar este papel. Nos sistemas sob plantio direto, em ambos os locais, como a variação de pH esteve entre 4,36 e 5,25, prevaleceu o efeito do Al, enquanto as correlações negativas com o Ca, foram provavelmente devidas à elevação do pH com consequente redução do Al, e não devido a um efeito direto do Ca sobre a estabilidade de agregados.

Os resultados indicam que houve dominância do efeito dos teores de N-total e C-orgânico sobre a estrutura do solo. Nos sistemas sob cultivo, em Londrina, onde os teores de C-orgânico eram menores em relação a Campo Mourão, a estabilidade foi menor e diferenças nos teores de C-orgânico e N-total entre os sistemas, apesar de não significativas, refletiram na agregação do solo de forma positiva. Em Campo Mourão, onde a estabilidade foi maior, refletindo o maior teor de C-orgânico no solo, a estabilidade foi melhor relacionada com as alterações nos parâmetros químicos, principalmente o pH. Esse comportamento é consistente com aquele observado por CASTRO FILHO & LOGAN (1991), onde a estabilidade era maior quanto maior o teor de C-orgânico, ao mesmo tempo em que alterações do pH foram mais importantes, para a estabilidade, no solo com maior teor de C-orgânico.

4.2. ALTERAÇÕES NA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA, pH E TEORES DE C-ORGÂNICO E N-TOTAL

Os teores de C-orgânico e N-total, o pH e a capacidade de troca catiônica dos solos nas camadas de 0-1, 1-2, 2-4, 4-7, 7-10, 10-20 e 20-40 cm, foram diretamente influenciados pela ação incorporadora do arado, o que resultou em menor variação dos seus valores com a profundidade no sistema CONV, enquanto que nos sistemas sob plantio direto e na mata nativa a redução dos mesmos com a profundidade foi bem caracterizada (Tabelas 11 e 12).

4.2.1. C-ORGÂNICO E N-TOTAL

Em ambos os locais, nas camadas até 10 cm, os teores de C-orgânico e N-total foram menores nos sistemas sob cultivo em relação ao solo em sua condição natural (Tabelas 11 e 12). A redução da matéria orgânica do solo com o cultivo é bem documentada (ROVIRA & GREACEN, 1957; BAUER & BLACK, 1981; DORAN & SMITH, 1987) e atribuída à exposição e oxidação do material orgânico, proporcionada pelo revolvimento do solo através dos implementos agrícolas. Com o cultivo, os teores de matéria orgânica são reduzidos até que um novo equilíbrio seja atingido. O nível em que este equilíbrio ocorre é dependente de fatores ambientais e do manejo a que o solo é submetido.

TABELA 11. Valores de pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina, Paraná.

SISTEMAS	profundidades (cm)							
	0-1	1-2	2-4	4-7	7-10	10-20	20-40	0-40
----- pH -----								
CONV	A 5,25 b	A 5,21 bc	A 5,10 b	A 5,01 b	A 5,00 ab	A 4,99 a	A 4,93 a	4,98 a
DIR	A 6,29 a	AB 5,84 ab	C 5,19 b	C 4,98 b	C 5,02 ab	C 5,15 a	BC 5,42 a	5,31 a
AVEIA	A 6,21 a	B 5,83 ab	B 5,11 b	B 4,75 b	B 4,78 b	B 4,81 a	B 4,99 a	4,97 a
TMMLAV	A 6,04 ab	A 5,70 abc	B 5,00 b	B 4,81 b	B 4,90 b	B 5,03 a	B 5,11 a	5,09 a
TMML	A 5,78 ab	B 4,97 c	B 4,61 b	B 4,54 b	B 4,66 b	B 4,71 a	B 5,00 a	4,87 a
MATA	A 6,29 a	A 6,32 a	AB 6,24 a	ABC 5,95 a	BC 5,75 a	CD 5,45 a	D 4,92 a	5,33 a
----- C-orgânico (%) -----								
CONV	A 1,84 c	A 1,81 c	A 1,87 c	A 1,78 b	A 1,81 ab	A 1,77 a	B 1,05 ab	1,42 b
DIR	A 2,76 b	AB 2,46 b	BC 2,07 bc	C 1,95 ab	C 1,86 ab	C 1,63 a	D 0,81 b	1,33 b
AVEIA	A 2,94 b	AB 2,56 b	BC 2,20 bc	CD 1,88 ab	D 1,70 ab	D 1,43 a	E 0,88 b	1,32 b
TMMLAV	A 3,13 b	AB 2,97 ab	B 2,54 ab	C 2,05 ab	CD 1,79 ab	D 1,51 a	E 0,78 b	1,34 b
TMML	A 2,91 b	AB 2,50 b	BC 2,13 bc	CD 1,87 ab	D 1,58 b	D 1,44 a	E 0,86 b	1,29 b
MATA	A 4,91 a	B 3,51 a	C 2,85 a	CD 2,40 a	D 2,22 a	E 1,61 a	E 1,54 a	1,87 a
----- N-total (%) -----								
CONV	A 0,196 c	A 0,184 c	A 0,178 b	A 0,180 b	A 0,183 b	AB 0,173 ab	B 0,130 ab	0,154 b
DIR	A 0,268 b	B 0,211 bc	BC 0,184 b	BCD 0,168 b	CD 0,157 b	D 0,138 b	E 0,078 c	0,119 c
AVEIA	A 0,277 b	B 0,227 bc	C 0,179 b	CD 0,159 b	CD 0,143 b	DE 0,132 b	E 0,096 bc	0,125 c
TMMLAV	A 0,311 b	B 0,245 b	BC 0,205 b	CD 0,170 b	D 0,148 b	DE 0,130 b	E 0,095 bc	0,128 bc
TMML	A 0,279 b	B 0,218 bc	BC 0,184 b	CD 0,163 b	CDE 0,146 b	DE 0,131 b	E 0,112 bc	0,133 bc
MATA	A 0,599 a	B 0,475 a	C 0,394 a	D 0,311 a	E 0,255 a	F 0,203 a	F 0,175 a	0,227 a
----- CTC efetiva (meq/100g) -----								
CONV	A 8,07 b	A 7,16 c	A 7,70 b	A 7,31 a	A 7,49 a	A 7,21 a	A 5,67 a	6,51 a
DIR	A 16,49 a	A 15,37 a	B 11,28 ab	B 9,28 a	B 9,58 a	B 8,94 a	C 5,26 a	7,64 a
AVEIA	A 16,45 a	A 14,65 ab	B 10,96 ab	C 7,80 a	C 7,44 a	C 7,23 a	D 4,09 a	6,32 a
TMMLAV	A 16,16 a	A 14,98 a	B 11,03 ab	BC 8,51 a	C 8,13 a	CD 7,46 a	D 4,72 a	6,80 a
TMML	A 14,67 a	B 10,11 bc	BC 7,83 b	CD 7,18 a	CD 6,87 a	CD 6,67 a	D 4,50 a	5,98 a
MATA	A 18,63 a	AB 16,03 a	B 13,87 a	C 10,91 a	CD 9,12 a	DE 7,06 a	E 5,13 a	7,40 a
----- CTC a pH 7,0 (meq/100g) -----								
CONV	A 12,82 c	A 11,91 c	A 12,86 b	A 12,67 a	A 12,90 a	A 12,64 a	A 10,34 a	11,51 a
DIR	A 19,38 b	A 19,20 ab	B 16,41 ab	BC 14,50 a	BC 14,60 a	C 13,42 a	D 8,89 a	11,77 a
AVEIA	A 19,34 b	AB 18,35 ab	B 16,10 ab	C 13,38 a	C 12,72 a	C 12,24 a	D 8,39 a	10,96 a
TMMLAV	A 19,47 b	A 19,27 ab	AB 17,03 a	BC 14,51 a	C 13,67 a	C 12,40 a	D 8,82 a	11,44 a
TMML	A 18,56 b	B 15,89 b	BC 14,35 ab	BC 13,70 a	C 12,74 a	C 12,02 a	D 8,78 a	10,96 a
MATA	A 27,85 a	B 21,21 a	C 18,07 a	D 14,23 a	DE 12,75 a	EF 11,18 a	F 9,46 a	11,68 a

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Em Londrina, os sistemas sob plantio direto apresentaram teores de C-orgânico maiores do que o sistema CONV nos 2 cms superficiais. Na camada de 2-4 cm, apenas o sistema TMMLAV se manteve com níveis superiores ao mesmo sistema. A partir dos 4 cm de profundidade, os sistemas sob cultivo, não mais diferiram entre si.

TABELA 12. Valores de pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Campo Mourão, Paraná.

SISTEMAS	profundidades (cm)							
	0-1	1-2	2-4	4-7	7-10	10-20	20-40	0-40
----- pH -----								
CONV	A 4,80 b	AB 4,72 b	AB 4,65 b	AB 4,49 a	B 4,41 a	AB 4,48 a	AB 4,56 a	4,54 a
DIR	A 6,09 a	A 6,01 a	B 5,30 a	C 4,83 a	CD 4,65 a	CD 4,54 a	D 4,38 ab	4,60 a
AVEIA	A 6,03 a	A 5,84 a	B 5,36 a	C 4,62 a	C 4,49 a	C 4,51 a	C 4,39 ab	4,57 a
TMMLAV	A 5,89 a	A 5,61 a	B 4,99 ab	BC 4,62 a	C 4,46 a	C 4,45 a	C 4,47 a	4,57 a
TMML	A 5,82 a	A 5,52 a	B 5,07 ab	C 4,47 a	C 4,32 ab	C 4,36 a	C 4,16 ab	4,36 a
MATA	A 3,89 c	A 3,86 c	A 3,83 c	A 3,83 b	A 3,82 b	A 3,81 b	A 3,93 b	3,88 b
----- C-orgânico (%) -----								
CONV	A 2,59 c	A 2,53 b	AB 2,46 b	AB 2,42 b	AB 2,37 b	B 2,15 a	C 1,47 a	1,88 ab
DIR	A 2,94 b	A 2,79 b	A 2,64 b	B 2,14 b	B 1,97 c	B 1,87 a	C 1,39 a	1,74 ab
AVEIA	A 2,61 bc	AB 2,53 b	AB 2,45 b	BC 2,21 b	CD 2,10 bc	D 1,84 a	E 1,26 a	1,66 b
TMMLAV	A 2,73 bc	AB 2,56 b	AB 2,44 b	B 2,30 b	C 1,96 c	C 1,84 a	D 1,50 a	1,78 ab
TMML	A 2,66 bc	A 2,46 b	A 2,47 b	B 2,09 b	B 2,07 bc	BC 1,89 a	C 1,60 a	1,83 ab
MATA	A 5,61 a	B 3,21 a	BC 3,11 a	CD 2,81 a	D 2,72 a	E 1,94 a	F 1,39 a	1,97 a
----- N-total (%) -----								
CONV	A 0,193 c	AB 0,187 c	AB 0,182 b	AB 0,178 b	AB 0,173 b	B 0,154 a	C 0,081 a	0,124 b
DIR	A 0,261 b	A 0,232 b	B 0,192 b	BC 0,168 b	CD 0,132 b	D 0,119 a	D 0,098 a	0,123 b
AVEIA	A 0,231 bc	AB 0,200 bc	BC 0,183 b	BC 0,168 b	C 0,160 b	C 0,149 a	D 0,099 a	0,131 b
TMMLAV	A 0,259 b	AB 0,225 bc	BC 0,194 b	CD 0,180 b	CD 0,170 b	D 0,151 a	E 0,088 a	0,130 b
TMML	A 0,241 b	AB 0,223 bc	BC 0,198 b	CD 0,176 b	CD 0,167 b	D 0,148 a	E 0,103 a	0,136 b
MATA	A 0,495 a	B 0,410 a	C 0,346 a	C 0,311 a	D 0,261 a	E 0,155 a	F 0,101 a	0,172 a
----- CTC efetiva (meq/100g) -----								
CONV	A 6,47 c	A 6,32 d	AB 6,15 b	AB 5,23 a	AB 5,06 a	B 4,33 a	C 1,78 a	3,37 a
DIR	A 12,95 a	A 12,75 a	B 9,47 a	C 6,05 a	CD 4,89 a	D 4,10 a	E 1,88 a	3,90 a
AVEIA	A 11,87 ab	AB 10,64 ab	B 8,93 a	C 5,23 a	C 4,68 a	C 4,16 a	D 1,89 a	3,74 a
TMMLAV	A 11,25 ab	A 9,61 bc	B 7,07 ab	BC 5,31 a	C 4,48 ab	C 4,35 a	D 2,43 a	3,91 a
TMML	A 9,88 b	B 7,92 cd	C 5,94 b	D 3,58 ab	D 2,96 ab	D 2,55 a	D 1,93 a	2,83 ab
MATA	A 3,35 d	AB 2,82 e	AB 2,40 c	AB 2,23 b	AB 2,07 b	AB 1,82 a	B 1,05 a	1,58 b
----- CTC a pH 7,0 (meq/100g) -----								
CONV	A 12,69 d	A 12,87 c	A 12,90 bc	A 12,47 b	A 12,50 ab	A 11,08 ab	B 6,77 a	9,31 a
DIR	A 16,28 b	A 16,41 ab	A 14,64 ab	B 12,17 b	B 11,05 b	B 10,41 ab	C 7,44 a	9,61 a
AVEIA	A 15,31 bc	A 14,57 abc	AB 13,90 abc	BC 11,96 b	C 11,56 ab	C 10,71 ab	D 7,30 a	9,53 a
TMMLAV	A 14,84 bcd	AB 13,97 bc	BC 12,01 c	BC 12,05 b	C 11,43 b	C 11,03 ab	D 8,15 a	9,91 a
TMML	A 13,47 cd	AB 12,31 c	ABC 11,46 c	BCD 10,46 b	CDE 10,15 b	DE 9,16 b	E 8,28 a	9,19 a
MATA	A 19,24 a	B 16,97 a	B 15,94 a	BC 16,70 a	CD 13,99 a	D 12,72 a	E 7,42 a	10,89 a

Média de 4 repetições. Letras maiúsculas comparam médias de profundidades dentro do mesmo sistema. Letras minúsculas comparam médias de sistemas dentro da mesma profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Em Campo Mourão, ocorreram diferenças entre sistemas apenas nas camadas de 0-1 e 7-10 cm. Na camada de 0-1 cm, os sistemas sob plantio direto não diferiram entre si e apenas o sistema DIR, o único a ser mantido sob plantio direto contínuo, apresentou maior teor de C-orgânico do que o sistema CONV. Na camada de 7-10 cm houve inversão das posições, com o sistema CONV passando a apresentar maior teor de C-orgânico do que os sistemas sob plantio direto, embora diferenças significativas só tenham sido observadas

em relação aos sistemas DIR e TMMLAV. O menor efeito observado sobre os teores de C-orgânico quando se compara os sistemas sob plantio direto e o sistema CONV, em Campo Mourão em relação a Londrina é reflexo do histórico do último em Campo Mourão, onde o mesmo estava sendo manejado sob plantio direto até 1,5 anos antes da avaliação, além do que, com exceção do sistema DIR, os sistemas sob plantio direto foram submetidos ao preparo convencional por quatro oportunidades durante o decorrer do experimento (três vezes no início e uma vez no verão de 1990; Tabela 03), o que proporcionou maior homogeneidade no teor de C-orgânico ao longo do perfil.

Analogamente aos teores de C-orgânico, devido a alta dependência entre ambos (Tabela 13), os teores de N-total foram, em alguns casos, superiores sob plantio direto em relação ao sistema CONV (Tabelas 11 e 12). Em Londrina, os sistemas sob plantio direto apresentaram maiores teores de N-total, em relação ao sistema CONV, apenas nos 2 cm superficiais. Nas demais camadas até 20 cm os sistemas sob cultivo não diferiram entre si, quanto a este parâmetro. Na camada de 20-40 cm, porém, o sistema CONV, passou a apresentar maior teor de N-total do que o sistema DIR, evidenciando que neste solo, a adubação verde contribuiu para a manutenção do nitrogênio em profundidade, a despeito da não incorporação dos resíduos. Em Campo Mourão, na camada superficial (0-1 cm), apenas o sistema AVEIA não apresentou maior teor de N-total em relação ao sistema CONV. Na camada de 1-2, porém, apenas o sistema DIR apresentou maior teor em relação ao sistema CONV. Nas camadas entre

as profundidade de 2 a 40 cm os sistemas sob cultivo não mais diferiram entre si, quanto ao teor de N-total, refletindo a já referida maior homogeneidade entre os sistemas sob plantio direto e o sistema CONV, neste local.

Maiores teores de C-orgânico e N-total na camada superficial do solo sob plantio direto, em relação ao plantio convencional, já foram relatados (BAUER & BLACK, 1981; BLEVINS et al., 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; MUZILLI, 1983; 1985; SMETTEM et al., 1992) e atribuídos ao acúmulo dos resíduos orgânicos na superfície, devido à ausência de revolvimento e à menor taxa de mineralização, pelo menor contato do material orgânico com o solo (DICK, 1983; DERPSCH et al., 1992), evitando assim a ação rápida dos microrganismos. Assim sendo, menores taxas de mineralização da matéria orgânica no sistema de plantio direto em relação ao plantio convencional têm sido observadas por vários autores (DORAN, 1980; SARRANTONIO & SCOTT, 1988; BALESSENT et al., 1990). Essas menores taxas de mineralização da matéria orgânica têm sido indicadas como as responsáveis pela deficiência de N comumente observada em trigo e milho (MUZILLI, 1983). Contudo, experimentos de longa duração têm indicado que o acúmulo de material orgânico na camada superficial do solo sob sistemas de plantio direto elevariam o potencial de mineralização (EL-HARRIS et al., 1983; WOOD et al., 1990), compensando as menores taxas de mineralização e possibilitando o fornecimento de N equivalente ou até superior aquele observado no sistema de plantio convencional (RICE et al., 1986; STALEY et al., 1988). Associado a isso, a presença de leguminosas como a soja e

principalmente o tremço em sistemas de rotaço com o milho e trigo, têm demonstrado eliminar problemas de deficiêcia de N para ambas as culturas, devido a contribuiço do N-residual, refletindo em maiores produtividades (MUZILLI, 1983; REEVES et al., 1984; HEINZMAN, 1985; HENDERSON, 1989; CALEGARI, 1990; DERPSCH et al., 1992).

4.2.2. CTC EFETIVA E pH

Em relaço à CTC efetiva, os solos tiveram comportamento diferenciado, quando considerados seus valores nos sistemas sob cultivo em relaço à mata nativa (Tabelas 11 e 12). Em Londrina, a CTC efetiva foi maior na mata nativa do que nos sistemas sob cultivo, enquanto que em Campo Mourão ocorreu o inverso. Esse comportamento foi diretamente relacionado com a variaço de pH dos solos (Tabela 13).

A CTC efetiva foi maior nos sistemas sob plantio direto em relaço ao sistema CONV nas camadas até 4 cm, em Campo Mourão e até 2 cm em Londrina, exceto no sistema TMML, que apresentou os menores aumentos em relaço ao sistema CONV, razão pela qual, só houve diferenças significativas entre estes sistemas na camada de 0-1 cm. A partir de 4 cm em Campo Mourão e 2 cm em Londrina, os sistemas sob cultivo não mais diferiram entre si. A tendêcia de reduço da CTC efetiva no sistema TMML em relaço aos demais sistemas sob plantio direto, em Londrina e inclusive ao sistema CONV em Campo Mourão, indicam que o tremço estaria influenciando de forma

negativa este parâmetro. Como foi observado (Tabela 13), a CTC efetiva tem relação direta com o pH, e este foi sempre menor neste sistema. Como já discutido anteriormente, (ítem 4.1.3.2) a fixação biológica do N₂ e maior lixiviação de nitratos no tremoço e, a adubação nitrogenada do milho com sulfato de amônio, tem demonstrado intensificar a acidificação do solo (BLEVINS et al., 1977; CASTRO et al., 1987; COVENTRY & SLATTERY, 1991).

TABELA 13. Coeficientes de correlação linear entre os parâmetros químicos, pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

	profundidades (cm)							
	0-1	1-2	2-4	4-7	7-10	10-20	20-40	
	Londrina							
pH*C-org	0.68 NS	0.74 *	0.70 NS	0.84 **	0.99 ***	0.51 NS	-0.53 NS	
pH*N-total	0.56 NS	0.73 *	0.92 ***	0.96 ***	0.96 ***	0.76 *	-0.71 NS	
pH*CTC ef	0.96 ***	0.86 **	0.82 **	0.87 **	0.67 NS	0.31 NS	0.13 NS	
pH*CTC a pH 7,0	0.78 *	0.83 **	0.63 NS	0.22 NS	-0.07 NS	-0.26 NS	-0.36 NS	
C-org*N-total	0.98 ***	0.86 **	0.85 **	0.90 **	0.92 ***	0.62 NS	0.95 ***	
C-org*CTC ef	0.80 *	0.79 *	0.81 **	0.92 ***	0.74 *	0.30 NS	0.35 NS	
C-org*CTC a pH 7,0	0.99 ***	0.89 **	0.85 **	0.61 NS	0.03 NS	0.26 NS	0.49 NS	
N-total*CTC efetiva	0.67 NS	0.53 NS	0.75 *	0.82 **	0.47 NS	-0.21 NS	0.33 NS	
N-total*CTC a pH 7,0	0.95 ***	0.65 NS	0.64 NS	0.23 NS	-0.28 NS	-0.55 NS	0.57 NS	
CTC ef*CTC a pH 7,0	0.87 **	0.98 ***	0.95 ***	0.65 NS	0.67 NS	0.78 *	0.87 **	
	Campo Mourão							
pH*C-org	-0.81 **	-0.66 NS	-0.80 *	-0.88 **	-0.88 **	-0.08 NS	-0.05 NS	
pH*N-total	-0.72 NS	-0.74 *	-0.88 **	-0.94 ***	-0.98 ***	-0.44 NS	-0.77 *	
pH*CTC ef	0.98 ***	0.97 ***	0.94 ***	0.93 ***	0.88 **	0.88 **	0.73 *	
pH*CTC a pH 7,0	-0.46 NS	-0.24 NS	-0.48 NS	-0.82 **	-0.73 NS	-0.68 NS	-0.29 NS	
C-org*N-total	0.99 ***	0.94 ***	0.96 ***	0.91 **	0.90 **	0.33 NS	-0.14 NS	
C-org*CTC ef	-0.75 *	-0.52 NS	-0.68 NS	-0.65 NS	-0.59 NS	0.04 NS	0.29 NS	
C-org*CTC a pH 7,0	0.87 **	0.86 **	0.83 **	0.95 ***	0.90 **	0.25 NS	0.57 NS	
N-total*CTC efetiva	-0.65 NS	-0.67 NS	-0.83 **	-0.84 **	-0.79 *	-0.30 NS	-0.37 NS	
N-total*CTC a pH 7,0	0.91 **	0.70 NS	0.68 NS	0.94 ***	0.82 **	0.36 NS	0.44 NS	
CTC ef*CTC a pH 7,0	-0.34 NS	-0.05 NS	-0.24 NS	-0.60 NS	-0.34 NS	-0.25 NS	0.44 NS	

**, *, ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Por outro lado, o sistema DIR sempre apresentou os maiores valores absolutos para a CTC efetiva. Isto esteve relacionado à adubação aplicada aos sistemas. Enquanto o sistema DIR recebeu adubação em todos os cultivos, os sistemas onde a adubação verde estava presente não receberam adubação por 4 cultivos durante o decorrer do experimento, o que reduziu a adição de nutrientes, afetando, deste modo, a CTC efetiva.

O maior pH e CTC efetiva nos sistemas sob plantio direto estiveram associados à menor intensidade de revolvimento em Campo Mourão e ausência do mesmo em Londrina, devido à não incorporação da calagem e da adubação aplicada. Resultados semelhantes foram obtidos por CENTURION et al. (1985), SIDIRAS & PAVAN (1985), SMETTEM et al. (1992).

4.2.3. CTC a pH 7,0

A CTC a pH 7,0 foi influenciada pelos sistemas de cultivo e foi positivamente correlacionada com as mudanças nos teores de N-total e C-orgânico, nas camadas superficiais do solo até 4 cm em Londrina e até 10 cm em Campo Mourão (Tabela 13). Em Londrina a CTC a pH 7,0 foi diretamente relacionada com a CTC efetiva, enquanto em Campo Mourão isto não ocorreu (Tabela 13), devido à reduzida CTC efetiva observada na mata nativa, em discordância com a maior CTC a pH 7,0 em função do maior teor de matéria orgânica na mesma.

PAVAN et al. (1985), utilizando o método da oxidação da matéria orgânica com água oxigenada, observaram que em solos do Estado do Paraná a contribuição da matéria orgânica do solo para a CTC a pH 7,0 chegou a 83%. VAN RAIJ (1969), utilizando a mesma metodologia, observou que em solos do Estado de São Paulo este valor chegou a 74% nas amostras superficiais e 35% nas subsuperficiais. A baixa atividade dos minerais constituintes da fração argila dos solos tropicais, predominantemente caulinita, gibbsita e óxidos de Fe, tem sido indicada como a causa para sua pequena contribuição para a CTC destes solos (PAVAN et al., 1985; SIDIRAS & PAVAN, 1985; CASTRO FILHO et al., 1991).

Os valores da contribuição em meq/g do C-orgânico para a CTC a pH 7,0, estimados pelo método gráfico (KLAMT & SOMBRÔEK, 1988) foram de 3,68 em Londrina e 4,60 em Campo Mourão (Figura 05), valores estes superiores aos 3,36 meq/g obtidos por KLAMT & SOMBRÔEK (1988) para latossolos brasileiros, mas no caso de Campo Mourão muito próximo aos 4,5 meq/g utilizados em levantamento de solos para calcular a CTC da fração mineral (EMBRAPA, 1988). Por outro lado, estes mesmos valores, estiveram dentro da variação de 2,10 a 4,90 meq/g observada por VAN RAIJ (1969) em latossolos do Estado de São Paulo, utilizando o método da oxidação da matéria orgânica com água oxigenada, e inferiores a variação de 4,92 a 8,57 meq/g observada por PAVAN et al. (1985) em latossolos do Paraná, utilizando a mesma técnica.

4.3. EFEITO DOS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS NA PRODUÇÃO DE GRAÇOS DE TRIGO

O rendimento de grãos do trigo, avaliado apenas nos sistemas sob plantio direto (Tabela 14) foi maior no sistema TMML, com aumentos percentuais em relação ao sistema DIR de 8 % ($275 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em Londrina e 44 % ($575 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em Campo Mourão, onde o efeito foi significativo ($P < 0,01$). Aumentos de produtividade da cultura do trigo sob plantio direto, em relação ao convencional, têm sido observados em vários trabalhos (KEMPER & DERPSCH, 1981a; SIDIRAS & VIEIRA, 1984; SIDIRAS et al., 1984; DERPSCH et al., 1986) e têm sido atribuídos aos aumentos dos teores de matéria orgânica, da atividade biológica e da disponibilidade de água, e redução das perdas de água e solo por erosão no sistema de plantio direto.

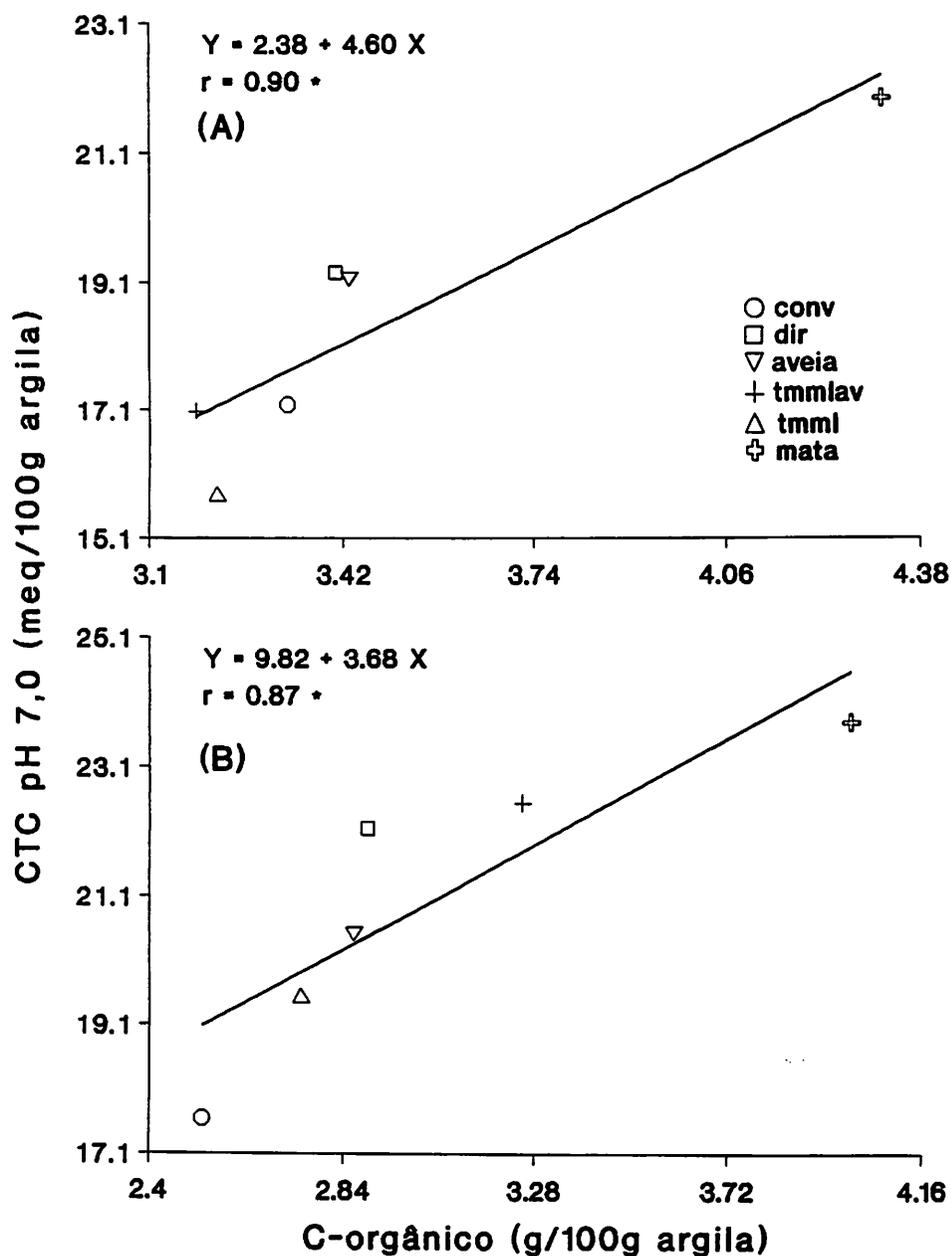


FIGURA 05. Relacao entre a CTC pH 7,0 e o teor de C-orgânico em 100g de argila, na camada de 0-10 cm, em Campo Mourao (A) e Londrina (B). (*, $P < 0,05$)

TABELA 14. Produção de grãos de trigo, safra 1992, em Londrina e Campo Mourao, Paraná.

SISTEMAS	Kg/ha	
	Londrina	Campo Mourao
DIR	3.517 a	1.297 c
AVEIA	3.699 a	1.551 b
TMMLAV	3.624 a	1.764 a
TMML	3.792 a	1.872 a

Média de 4 repetições. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. A descrição dos sistemas utilizados consta da Tabela 03.

Estudos comparando os efeitos de diferentes sistemas de rotação de culturas sobre o rendimento de grãos de trigo (REEVES et al., 1984; HENDERSON, 1989; HAMBLIM, et al., 1993), e milho (HEINZMAN, 1985; CALEGARI, 1990) têm demonstrado efeito positivo da inclusão de leguminosas nos sistemas. MUZILLI (1983), avaliando o efeito de diferentes sistemas de rotação de cultura (soja-trigo-soja, milho-trigo-milho, soja-trigo-milho) sobre a fertilidade do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas, observou deficiência de N nas culturas do milho e trigo no sistema milho-trigo-milho, expresso por menores teores de N no tecido. A inclusão da soja nos sistemas de rotação, porém, possibilitou a redução da deficiência de N em ambas as culturas.

HENDERSON (1989) e HAMBLIM et al. (1993) consideraram mínimos os efeitos da variação no N residual proveniente do tremoço, sobre a produção de grãos do trigo. Entretanto, HENDERSON (1989) estimou que a atuação do sistema radicular do tremoço, como o que comumente vem sendo denominado de "arado biológico", melhorou os rendimentos do trigo em 100 kg.ha⁻¹. Este aumento de produção estaria

relacionado aos canais de raízes fornecidos pela cultura do tremoço, melhorando o acesso das raízes de trigo aos nutrientes parcialmente lixiviados, tais como o nitrato. O autor ainda considera como relevante ao aumento de produção os benefícios provenientes da fixação de nitrogênio e da quebra no ciclo de doenças.

* Neste sentido, evidências indiretas sugerem que a adubação verde, associada à diversidade de plantas nos sistemas estudados, pode ser mais importante na manutenção da atividade/diversidade microbiológica, do que a sucessão soja/trigo contínuo no sistema DIR. Deste modo a rotação de culturas promoveria a produtividade das culturas pela supressão de microrganismos deletérios que proliferam sob monoculturas ou sistemas de sucessão contínua (REEVES et al., 1984; HENDERSON, 1989; DICK, 1992).

No presente estudo, a correlação entre a produção de grãos do trigo e as propriedades químicas avaliadas (Tabela 15), mostrou efeito positivo e significativo, apenas em relação ao teor de N-total na camada de 0-40 cm em Campo Mourão, embora em Londrina o coeficiente estivesse próximo ao nível de significância. As demais propriedades químicas avaliadas demonstraram efeito negativo ou ausência de efeito sobre a produção de grãos, já que os valores para as mesmas foram menores no sistema TMML onde a produção foi maior. Isso demonstra que sistemas de cultivo com um número reduzido de espécies, como a sucessão soja/trigo, resultam em menor rendimento das culturas em comparação às mesmas espécies em rotação, a despeito da maior fertilidade observada. Estes

resultados indicam que, apesar da fertilidade ser relativamente menor no sistema TMML, os efeitos deste sistema sobre a dinâmica do N podem superar esta suposta desvantagem em relação aos demais sistemas.

Estudos sobre o efeito residual de culturas de inverno, incluindo adubos verdes, sobre o rendimento de grãos das culturas da soja, feijão e milho, demonstram maiores rendimentos da soja e do feijão após resíduos com relação C/N acima de 25 (aveia), e maiores rendimentos para o milho após resíduos com relação C/N em torno de 20 (tremoço, ervilhaca) (DERPSCH et al., 1985; HEINZMAN, 1985; CALEGARI, 1990). HEINZMAN (1985) verificou, ainda, que houve maior esgotamento de nitrato pelas culturas de verão nos sistemas envolvendo leguminosas no inverno, onde o nitrato no solo também era maior, resultando em teores mais elevados de N nos tecidos e grãos das culturas de verão, particularmente no sistema envolvendo tremoço.

TABELA 15. Correlação simples entre parâmetros químicos, na camada de 0-40 cm e o DMG (Diâmetro Médio Geométrico), na camada de 0-10 cm, com a produção de grãos de trigo, safra 1992, em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

PARÂMETROS	produção de grãos	
	Londrina	Campo Mourão
pH	-0,99 **	-0,74 NS
C-orgânico	-0,81 NS	0,62 NS
N-total	0,89 NS	0,91 *
CTC efetiva	-0,99 **	-0,65 NS
CTC a pH 7,0	-0,94 *	-0,25 NS
DMG	0,96 **	0,96 **

** , * e ns, significativo a 5% e 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Algumas evidências sugerem que maiores taxas de aplicação de nutrientes na forma inorgânica, como no sistema DIR, que recebeu adubação em todos os cultivos, enquanto nos sistemas com adubação verde de inverno a mesma foi omitida por quatro cultivos, podem reduzir a atividade biológica e suprimir a produção de certas enzimas envolvidas no ciclo de um dado nutriente (por exemplo, a amidase e urease no ciclo do N; DICK, 1984), reduzindo assim o potencial biológico para eficiente ciclagem e mineralização de fontes orgânicas de nutrientes (DICK, 1992).

Por outro lado, a melhoria das condições físicas do solo, expressa pelo índice DMG, foi diretamente relacionada com a variação de produtividade observada entre os sistemas (Tabela 15). Isto encontra suporte nos resultados obtidos por REEVES et al. (1984) mostrando aumentos de rendimento de 750 Kg.ha^{-1} , quando o trigo foi cultivado após o tremoço, em relação ao trigo cultivado após o trigo, e de 450 Kg.ha^{-1} no segundo trigo após o tremoço, em relação ao terceiro trigo sucessivo a trigo. O N mineral foi consistentemente maior após o tremoço em relação àquele após o trigo. Em média, o tremoço forneceu $41 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de N mineral. A melhoria de produção foi acompanhada pelo aumento da estabilidade de agregados no sistema tremoço-trigo em relação ao trigo contínuo.

Neste aspecto, é de conhecimento que o cultivo do solo, além de afetar sua química e estrutura, também afeta sua biologia. O cultivo reduz a atividade biológica e existem evidências que isto seja devido à redução de macroagregados em solos submetidos à frequente revolvimento, já que os macroagregados constituem um

importante microhabitat à atividade microbiológica (PAUL & CLARK, 1989; DICK, 1992). Como a estabilidade de macroagregados é bem relacionada com a atividade microbiológica, significativamente maiores níveis de biomassa microbiana e atividade de enzimas (DICK, 1984; CARTER, 1992, SMETTEM et al., 1992) têm sido observado em sistemas com rotação de culturas, em relação à sistemas em monocultura ou sucessão, onde a estabilidade de agregados é menor.

A análise dos resultados sugere que a diversificação das culturas em sistemas de plantio direto, com diferentes sistemas radiculares e resíduos, pode promover uma recuperação das propriedades físicas e dos níveis de fertilidade do solo, resultando num ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas.

5. CONCLUSÕES

1. O plantio direto no sistema AVEIA aumentou a Ds na camada de 0-5 cm, o que elevou a MIP e reduziu a PT, MAP e Ks; isto esteve relacionado ao manejo com rolo-faca.

2. A estabilidade estrutural do solo, expressa pelo índice DMG, foi melhorada pela introdução dos adubos verdes de inverno, principalmente o tremoço no sistema TMML, o que proporcionou aumentos em relação ao sistema CONV de 25,9 % em Campo Mourão e de 64,8 % em Londrina. O DMG foi positivamente correlacionado com o aumento no teor de C-orgânico e N-total no solo e nos agregados > 4,00 mm em Londrina, mas apenas com o N-total no solo e nos agregados > 4,00 mm em Campo Mourão, onde a redução do pH e a elevação das concentrações de Al e H+Al foram positivamente e melhor correlacionadas com a estabilidade de agregados.

3. Houve aumento nos níveis de fertilidade da camada superficial do solo (0-4 cm) nos sistemas sob plantio direto, em relação ao plantio convencional, sendo de menor intensidade nos sistemas onde a adubação verde de inverno estava presente, devido à ausência de adubação inorgânica nestas culturas.

4. A presença do tremoço no sistema TMML, proporcionou aumentos de produção do trigo em relação ao sistema DIR, de 8% (275 kg.ha⁻¹) em Londrina e 44% (475 kg.ha⁻¹) em Campo Mourão, onde o efeito foi significativo. Esse incremento foi positivamente correlacionado com o aumento no teor de N-total na camada de 0-40 cm, e com o aumento do DMG, na camada de 0-10 cm.

5. A análise dos resultados sugere que a diversificação das culturas em sistemas de plantio direto, com diferentes sistemas radiculares e resíduos, podem promover uma recuperação das propriedades físicas e dos níveis de fertilidade resultando num ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas.

6. No nível de manejo utilizado neste experimento ficou evidenciado que a estrutura do solo teve melhor relação com a produtividade do trigo do que os parâmetros de fertilidade avaliados.

6. RESUMO

A proposta deste estudo foi avaliar, após 7,5 anos (1985-1992), os efeitos de alguns sistemas de rotação de culturas em plantio direto, em relação ao plantio convencional de soja-trigo (*Glycine max-Triticum aestivum*) (CONV), sobre propriedades físicas e níveis de fertilidade de um Latossolo Roxo eutrófico, em Londrina, PR e um Latossolo Roxo álico em Campo Mourão, PR, e seus efeitos sobre a produção de grãos do trigo. Os seguintes sistemas de rotação de culturas em plantio direto foram avaliados: DIR, soja-trigo; AVEIA, aveia (*Avena strigosa*)-soja-trigo; TMMLAV, tremoço (*Lupinus angustifolius*)-milho (*Zea mays*)-aveia-soja-trigo; TMML, tremoço-milho-soja-trigo. Em ambos os locais os resultados foram comparados com o solo sob vegetação natural. O plantio direto no sistema AVEIA aumentou a densidade do solo (Ds) no sistema AVEIA, na camada de 0-5 cm, o que elevou a MIP (microporosidade) e reduziu a PT (porosidade total), MAP (macroporosidade) e Ks (condutividade hidráulica saturada); as mudanças nestes parâmetros provavelmente estiveram relacionadas ao manejo com rolo-faca na cultura da aveia. Apesar da mesma prática ter sido usada na cultura do tremoço, existem evidências de que a atuação do seu sistema radicular reduziu o efeito compactador desta operação. O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo foi aumentado pelo uso dos adubos verdes de inverno, especialmente o tremoço no sistema TMML, resultando em incrementos, em relação ao sistema CONV, de 25,9% em Campo Mourão e de 64,8% em Londrina, onde a estabilidade dos agregados do solo foi mais afetada pelo cultivo contínuo. A estabilidade dos agregados do solo foi positivamente correlacionada

com o aumento do C-orgânico e N-total no solo e nos agregados > 4,00 mm em Londrina, mas apenas com o N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm em Campo Mourão, onde a redução do pH e a elevação das concentrações de Al e H+Al foram positivamente e melhor correlacionadas com a estabilidade dos agregados do solo. Os sistemas de plantio direto elevaram os níveis de fertilidade, em relação ao plantio convencional, na camada superficial do solo (0-4 cm), expressos por aumentos de pH, C-orgânico e N-total. Este efeito foi menos intenso nos sistemas onde a adubação verde de inverno estava presente, e foi associado à ausência de adubação inorgânica nestas culturas. A contribuição do C-orgânico para a CTC pH 7,0 foi maior em Campo Mourão (4,60 meq/g) do que em Londrina (3,68 meq/g). A presença do tremoço no sistema TMML aumentou a produção de grãos do trigo em relação ao sistema DIR, em 8% (275 kg/ha) em Londrina e em 44% (475 kg/ha) em Campo Mourão, onde o efeito foi significativo. Esse incremento de produção foi positivamente correlacionado com os aumentos do teor de N-total, na camada de 0-40 cm e do DMG, na camada de 0-10 cm, que foram maiores no sistema TMML. No nível de manejo utilizado neste experimento ficou evidenciado que a estrutura do solo teve melhor relação com a produtividade do trigo do que os parâmetros de fertilidade avaliados. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a diversificação de culturas em sistemas de rotação, com diferentes sistemas radiculares e resíduos, podem promover a recuperação das propriedades físicas e dos níveis de fertilidade do solo, resultando num ambiente favorável para o desenvolvimento das culturas.

7. SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate, after 7.5 years (1985-1992), the effects of some crop rotations in no-tillage systems, in relation to soybean-wheat (*Glycine max-Triticum aestivum*) in conventional tillage (disc plough) (CT), on the physical proprieties and fertility levels of an eutrophic "Latosol Roxo" (Oxisol) in Londrina, PR, and an alic "Latosol Roxo" in Campo Mourão, PR, Brazil, as well as the effects on wheat yield. The following crop rotation treatments in no-tillage systems were evaluated: SW, soybean-wheat; OAT, oat (*Avena strigosa*)-soybean-wheat; LMOSW, lupin (*Lupinus angustifolius*)-maize (*Zea mays*)-oat-soybean-wheat; LMSW, lupin-maize-soybean-wheat. In both places the results were compared with soil under natural vegetation. There was an increase in bulk density (BD) under OAT, in the 0-5 cm depth, which caused an increase in MIP (microporosity) and reduced TP (total porosity), MAP (macroporosity) and Ks (saturated hydraulic conductivity); changes in these parameters could be possibly related with the use of roller knife in the oat crop. Although the same practice has been also used in the lupin crop, soil compactive effect was reduced by the root system of this legume. The geometric mean diameter (GMD) of the soil aggregates was increased by the use of green manure winter crop, specially by the lupin in the LMSW crop rotation, resulting in increases, in relation to the CT system, of 25.9% in Campo Mourão and of 64.8% in Londrina, where the stability of the soil aggregates was more affected by the continuous soil cultivation. The stability of the soil aggregates was positively

correlated with organic C and total N in soil and in greater than 4.0 mm aggregates in Londrina, but only with total N in soil and in greater than 4.0 mm aggregates in Campo Mourão, where the decrease in pH and the increase in Al and H + Al contents were better and positively correlated with the stability of the soil aggregates. No-tillage systems allowed increases, in relation to the conventional tillage, in pH, organic C, and total N in the surface soil (0-4 cm depth). These effects were less intense with the use of green manure winter crops, what was partially associated with absence of inorganic fertilization. The contribution of organic C to CEC at pH 7.0 was higher in Campo Mourão (4.60 meq/g) than in Londrina (3.68 meq/g). When lupin was present in the LMSW system there was an increase in wheat yield of 8% (275 kg/ha) in Londrina and of 44% (475 kg/ha, statistically significant) in Campo Mourão in relation to SW. Yield was positively correlated with the increase in total N content (0-40 cm depth), and with the increase in GMD (0-10 cm depth), and both parameters were higher in LMSW rotation. In the soil and plant management carried out in this experiment the soil structure was better related with wheat yield than the soil fertility parameters measured. The results obtained in this work suggest that crop diversity in rotation systems, with differences in root systems and plant residues can promote the recovery of soil physical proprieties and fertility levels, allowing a favorable environment to the development of crops.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F. & CASSOL, E. A. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 3(3):169-172, Set/Dez. 1979.
- ALISSON, L. E. Carbon organic. In: BLACK, C. A. ed. **Chemical and microbiological properties**. Madison, ASA, 1965. Part 2, p. 1367-1378. (Agronomy Monographs, 9).
- ANGULO, R. J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M. L. P. Relações entre erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8(1):133-138, Jan/Abr. 1984.
- AULAKH, M. S.; RENNIE, D. A. & PAUL, E. A. The influence of plants residues on denitrification rates in conventional and zero tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 48(4):790-794, July/Aug. 1984.
- BAEUMER, K. & BAKERMANS, W. A. P. Zero-tillage. **Advances in Agronomy**, New York, 25:77-123. 1973.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. & BOISGONTIER, D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. **Journal of Soil Science**, London, 41(4):587-596, Dec. 1990.
- BAUER, A. & BLACK, A. L. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 45(6):1166-1170, Nov/Dec. 1981.
- BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P. & TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 5(3):145-149, Set/Dez. 1981.
- BEVEN, K. & GERMANN, P. Macroporos and water flow in soils. **Water Resources Research**, 18(5):1311-1325, Oct. 1982.
- BLAKE, G. R. Bulk density. In: BLACK, C. A., ed. **Physical and mineralogical properties**. Madison, ASA, 1965. Part 1, p. 374-390. (Agronomy Monographs, 9).
- BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W. & CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, 69(3):383-386, May/June. 1977.

- BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; SMITH, M. S.; FRYE, W. W. & CORNELIUS, P. L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventional tilled corn. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 3(2):135-146, May. 1983.
- BOYLE, M.; FRANKENBERGER JR., W. T. & STOLZY, L. H. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. **Journal of Production Agriculture**, Madison, 2(4):290-299, Nov/Dec. 1989.
- CALEGARI, A. Residual effects of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) on corn yield. INTERNATIONAL LUPIN CONFERENCE, 6, Temuco-Pucon, Chile, 1990. **Proceedings ... International Lupinus Association**, Nov, 1990. p.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A. & VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica, e física de solos, do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106)
- CANNELL, R. Q. Soil cultural practices related to root development. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K. & MEHTA, Y. R., eds. **The soil/root system in relation to brazilian agriculture**. Londrina, IAPAR, 1981. p. 61-80.
- 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, 14(1):99-105, Jan/Abr. 1990.
- CARTER, M. R. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of surface soil in a humid climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 23(4):361-372, May. 1992.
- CARTER, M. R. & RENNIE, D. A. Spring wheat growth and ¹⁵N studies under zero and shallow tillage on the canadian prairie. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 5(3):273-278, June. 1985.
- CARTER, M. R. & RENNIE, D. A. Effects of tillage on deposition and utilization of ¹⁵N residual fertilizer. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 9(1):33-43, Jan. 1987.
- CASSEL, D. K. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: UNGER et al., eds. **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison, ASA/SSSA, 1985. p. 45-68. (Special Publication, 44).
- CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 41 p. (Série Técnica, 3).

- CASTRO FILHO, C.; HENKLAIN, J. C.; VIEIRA, M. J. & CASÃO JR. R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 20(2-4):271-283, June. 1991.
- CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 55(5):1407-1413, Sep/Oct. 1991.
- CASTRO, O. M.; CAMARGO, A. O.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. & CANTARELA, H. **Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1987. 23 p. (Boletim Científico, 11).
- CENTURION, J. F. & DEMATTE, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 9(3):263-266, Set/Dez. 1985.
- CENTURION, J. F.; DEMATTE, J. L. I. & FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades química de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 9(3):267-270, Set/Dez. 1985.
- CHAN, K. Y. & MEAD, J. A. Water movement and macroporosity of an Australian Alfisol under different tillage and pasture conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 14(4):301-310, Sep. 1989.
- CHANEY, K. & SWIFT, R. S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. **Journal of Soil Science**, London, 35(2):223-230, Jun. 1984.
- CHRISTENSEN, B. T. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregate and particle size separates. **Journal of Soil Science**, London, 37(1):125-135, Mar. 1986.
- CINTRA, F. L. D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7(2):197-201, Maio/Ago. 1983.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7(3):323-327, Set/Dez. 1983.
- CORREA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (Typic Acrorthox) do estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 20(12):1381-1387, Dez. 1985.

- COVENTRY, D. R. & SLATTERY, N. J. Acidification of soil associated with lupins grown in crop rotation in North-eastern Victoria. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, **42**(3):391-397. 1991.
- DATIRI, B. C. & LOWERY, B. Effects of conservation tillage on hydraulic properties of a Griswold silt loam soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, **21**(3-4):257-271, Nov. 1991.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **20**(7):761-773, Jul. 1985.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, Alemanha, GTZ/IAPAR, 1992. 273 p.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, **8**:253-263. 1986.
- DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, **40**:25-36. 1992.
- DICK, W. A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **47**(1):102-107, Jan/Feb. 1983.
- DICK, W. A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **48**(3):569-574, May/Jun. 1984.
- DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **44**(4):765-771, July/Aug. 1980.
- DORAN, J. W. & SMITH, M. S. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. In: FOLLET, R. F.; STEWART, J. W. B. & COLE, C. V., eds. **Soil fertility and organic matter as critical components of production systems**. Madison, SSSA/ASA, 1987. p.53-72. (Special Publication, 19).
- DORMAAR, J. F. Chemical properties of soil and water-stable aggregates after sixty seven years of cropping to spring wheat. **Plant & Soil**, Hague, **75**(1):51-61, 1983.

- DORMAAR, J. F. Monosaccharides in hydrolysates of water-stable aggregates after 67 years of cropping to spring wheat as determined by capillary gas chromatography. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, **64**(4):647-656, Nov. 1984.
- DOUGLAS, J. T. & GOSS, M. J. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, **2**(2):155-175, Jun. 1982.
- EDWARDS, A. P. & BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, **18**(1):64-73, Mar. 1967.
- EL-HARRIS, M. K.; COCHRAN, V. L.; ELLIOTT, L. F. & BEZDICEK, D. F. Effect of tillage, cropping, and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **47**(6):1157-1161, Nov/Dec. 1983.
- ELLIOT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **50**(3):627-633, May/June. 1986.
- EL-SWAIFY, S. A. Physical and mechanical properties of oxisols. In: THENG, B. D. G., ed. **Soils with variable charge**. Palmerston North, New Zealand, New Zealand Soil Science Society, 1980. p. 303-324.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, **13**(2):259-267, Maio/Ago. 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba, EMBRAPA/SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. Tomo I, 416 p. (EMBRAPA-SNLCS, Boletim de Pesquisa , 27).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Critérios para distinção de classes de solos e fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1988. 67 p. (EMBRAPA-SNLCS, Documentos, 11)
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D. & MANNERING, J. V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **7**(3):329-333, Set/Dez. 1983.

- FOLLET, R. F.; GUPTA, S. C. & HUNT, P. G. Conservation practices: relation to the management of plant nutrients for crop production. In: FOLLET, R. F.; STEWART, J. W. B. & COLE, C. V., eds. **Soil fertility and organic matter as critical components of production systems**. Madison, SSSA/ASA, 1987. p.19-51. (Special Publication, 19).
- FOLLET, R. F. & PETERSON, G. A. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **52**(1):141-147, Jan/Feb. 1988.
- FOX, R. L. Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. In: THENG, B. D. G., ed. **Soils with variable charge**. Palmerston North, New Zealand, New Zealand Soil Science Society, 1980. p. 195-224.
- GAUDÊNCIO et al. Rotação e sucessão de culturas com a soja, no sistema de semeadura direta, em Londrina. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de Pesquisa de Soja 1988/1989**. Londrina, 1989. p. 253-260. (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 43).
- GREGORICH, E. G.; KACHANOSKI, R. G. & VORONEY, R. P. Carbon mineralization in soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. **Journal of Soil Science**, London, **40**(4):649-659, Dez. 1989.
- GROFFMAN, P. M. Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **49**(2):329-334, Mar/Apr. 1984.
- HAMBLIN, J.; DELANE, R.; BISHOP, A. & ADAM, G. The yield of wheat following lupins: effects of different lupin genotypes and management. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, **44**(4):645-659. 1993.
- HARRIS, R. F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, **18**:107-169. 1966.
- HAVLIN, J. L.; KISSEL, D. E.; MADDUX, L. D.; CLAASSEN, M. M. & LONG, J. H. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **54**(2):448-452, Mar/Apr. 1990.
- HAYNES, R. J. & SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science**, London, **41**(1):73-83, Mar. 1990.
- HEINZMAN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **20**(9):1021-1030, Set. 1985.

- HENDERSON, C. W. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, 29(1):99-102. 1989.
- HENKLAIN, J. C. & CASÃO JR, R. Preparo do solo. In: Paraná, Secretária da Agricultura e do Abastecimento. **Manual Técnico do sub programa de Manejo e Conservação do Solo**. Curitiba, IAPAR/SEAB, 1989. p. 130-157.
- HILL, R. L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 54(1):161-166, Jan/Feb. 1990.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR/SEAB, 1978. 41 p.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by covers crops and no-till tillage techniques in Parana, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 1(3):253-267, Aug. 1981a.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Soil compaction and root growth in Parana. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K. & MEHTA, Y. R., eds. **The soil/root system in relation to brazilian agriculture**. Londrina, IAPAR, 1981b. p. 81-102.
- KHAKURAL, B. R.; LEMME, G. D.; SCHUMACHER, T. E. & LINDSTROM, M. J. Effects of tillage and landscape on soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 25(1):43-52, Oct. 1992.
- KHIEL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 264 p.
- KLAMT, E. & SOMBRÔEK, W. G. Contribution of organic matter to exchange properties of Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8, Rio de Janeiro, 1986. **Proceedings ...** Rio de Janeiro, EMBRAPA/SMSS/AID/UPR, 1988. p. 64-70.
- KLUTE, A. & DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods**. Madison, ASA/SSSA, 1986. Part 1, p. 687-734. (Agronomy Monographs, 9).
- LAL, R.; DE VLEESCHAUNER, D. & MALAFA NGANJE, R. Changes in properties of a newly cleared tropical alfisol as affected by mulching. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 44(4):827-833, July/Aug. 1980.
- LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. **Advances in Agronomy**, New York, 42:85-197, 1989.

- LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **14**(1):85-90, Jan/Abr. 1990.
- LOGSDON, S. D.; RENEAU JR, R. B. & PARKER, J. C. Corn seedling root growth as influenced by soil physical properties. **Agronomy Journal**, Madison, **79**(2):221-224, Mar/Apr. 1987.
- LOGSDON, S. D.; ALLMARAS, R. R.; WU, L.; SWAN, J. B. & RANDALL, G. W. Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **54**(4):1096-1101, July/Aug. 1990.
- LOW, A. J. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grassland and arable soils (1945-1970). **Journal of Soil Science**, London, **23**(4):363-380, Dec. 1972.
- LOYOLA JR, E. & PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **13**(2):131-138, Maio/Ago. 1989.
- LYNCH, J. M. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. **Plant & Soil**, Hague, **76**(1-3):307-318. 1984.
- MACHADO, J. A. & BRUM, A. C. R.; Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **2**(2):81-84, Maio/Ago. 1978.
- MARSCHNER, H. & RÖMHELD, V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, **111**(3):241-251, Aug. 1983.
- McMAHON, M. A. & THOMAS, G. W. Anion leaching in two Kentucky soils under conventional and killed-sod mulch. **Agronomy Journal**, Madison, **68**(3):437-442, May/June. 1976.
- MONDARDO, A. & BISCAIA, R. M. Controle da erosão. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 33-42. (Circular, 23).
- MONDARDO, A.; VIEIRA, M. J.; BISCAIA, R. M.; CASTRO FILHO, C. & RUFINO, R. L. Erosion studies for different tillage and crop systems in the State of Paraná, Brazil. In: CONFERENCE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 8, Stuttgart, 1979a. **Proceedings ... Stuttgart, ISTRO, 1979a**. p. 159-163.

- MONDARDO, A.; CASTRO FILHO, C. & VIEIRA, M. J.; A degradação dos solos do Estado do Paraná, como fator de insucessos agrícolas. In: CONGRESSO DE AGRONOMIA, 11, Curitiba. **Anais ...** Curitiba, Acarpa, 1979b.
- MUZILLI, O. Manejo da fertilidade solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Parana**. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 45-53. (Circular, 23).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7(1):95-102, Jan/Abr. 1983.
- MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; ALMEIDA, F. L. S.; NAZARENO, N. R. X.; CARVALHO, A. O. R.; LAURENTI, A. E. & LLANILO, R. F. Comportamento e possibilidades da cultura do milho em plantio direto no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 18(1):41-47, Jan. 1983.
- MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELL, A. L., coord. **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 3-16.
- MUZILLI, O. Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In: Paraná, Secretária da Agricultura e do Abastecimento. **Manual Técnico do sub programa de Manejo e Conservação do Solo**. Curitiba, IAPAR/SEAB, 1989. p. 158-177.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant & Soil**, Hague, 76(1-3):319-337. 1984.
- OBI, M. E. & NNABUDE, P. C. The effects of different management practices on the physical properties of a sandy loam soil in southern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 12(1):81-90, July. 1988.
- PACKER, I. J.; HAMILTON, G. J. & WHITE, I. Tillage practices to conserve soil and improve soil conditions. **Journal Soil Conservation**, 40:78-87, July. 1984.
- PAGLIAI, M.; LA MARCA, M. & LUCAMANTE, G. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **Journal of Soil Science**, London, 34(2):391-403, June. 1983.
- PAUL, E. A. Dynamics of organic matter in soils. **Plant & Soil**, Hague, 76(1-3):275-285. 1984.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego, Academic Press, 1989. 273 p.

- PAVAN, M. A. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não-trocável, trocável e sóluvel, com o pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7(1):39-46, Jan/Abr. 1983.
- PAVAN, M. A. Efeito do pH do solo na produção de maçã no Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, 14(2):139-144. 1992.
- PAVAN, M. A.; BINGHAN, F. T. & PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Paraná. **Turrialba**, San Jose, Costa Rica, 35(2):131-139, Abr/Jun. 1985.
- PAVAN, M. A. BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 40p. (Circular, 76).
- PAVAN, M. A. & ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a brazilian oxisol. **Ciência & Cultura**, São Paulo, 44(6):391-394, Nov/Dec. 1992.
- PELEGRINI, F.; MORENO, F.; MARTIN-ARANDA, J. & CAMPS, M. The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 16(4):345-358, July. 1990.
- PIERCE, F. J.; FORTIN, M. C. & STATON, M. J.; Immediate and residual effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 24(2):149-165, July. 1992.
- REEVES, T. G.; ELLINGTON, A. & BROOKE, H. D. Effects of lupin-wheat rotations on soil fertility, crop disease and crop yields. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Local, 24(127):595-600, Nov. 1984.
- RICE, C. W. & SMITH, M. S. Denitrification in no-till and plowed soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 46(6):1168-1173, Nov/Dec. 1982.
- RICE, C. W. & SMITH, M. S. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 48(2):295-297, Mar/Apr. 1984.
- RICE, C. W.; SMITH, M. S. & BLEVINS, R. L. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 50(5):1206-1210, Sep/Oct. 1986.

- ROTH, C. H. & PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a brazilian oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, **48**(3-4):351-361, May. 1991.
- ROTH, C. H.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; MEYER, B. & FREDE, H. G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um latossolo roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **10**(2):163-166, Maio/Ago. 1986.
- ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C. & MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **15**(3):241-248, Set/Oct. 1991.
- ROVIRA, A. D. & GREACEN, E. L. The effect of aggregate disruption on the activity of microorganisms in the soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, **8**:659-673. 1957.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. New York, Willey, 1976. p. 162-222.
- SARRANTONIO, M. & SCOTT, T. W. Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **52**(6):1661-1668, Nov/Dec. 1988.
- SCHALLER, F. W. & STOCKINGER, K. R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **17**:310-313. 1953.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R. & MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **7**(1):103-106, Jan/Abr. 1983.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J. C. & DERPSCH, R. Comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, **151**:137-148, Jun. 1982.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **9**(3):249-254, Set/Dez. 1985.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C. H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, **9**(2):161-168, Feb. 1987.

- SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. & FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8(2):251-254, Maio/Ago. 1984a.
- SIDIRAS, N. & VIEIRA, M. J. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico, compactado pelas rodas do trator na semeadura: rendimentos de três culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19(10):1285-1293, Out. 1984.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R. & ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8(3):265-268, Set/Dez. 1984b.
- SIMONS, F. W. Tillage and compaction effects on root distribution. In: CONFERENCE ROOTS OF PLANT NUTRITION, Champaign, Illinois, 1992. **Proceedings ... Champaign, Illinois, PPI/PPIC/FAR, 1992.** p. 61-68.
- SMETTEM, K. F. J.; ROVIRA, A. D.; WACE, S. A.; WILSON, B. R. & SIMON, A. Effect of tillage and crop rotation on the surface stability and chemical properties of a red-brown earth (Alfisol) under wheat. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 22(1-2):27-40, Jan. 1992.
- SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 16(1-2):179-201, Apr. 1990.
- SPARLING, G. P.; SHEPHERD, T. G. & KETTLES, H. Changes in soil organic C, microbial C and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soils from Manawatu region, New Zealand. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 24(3):225-241, Aug. 1992.
- STALEY, T. E.; EDWARDS, W. M.; SCOTT, C. T. & OWENS, L. B. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 52(4):998-1005, July/Aug. 1988.
- STEIN, J. A.; SAGEMAN, A. R.; FISCHER, R. A. & ANGUS, J. F. Soil nitrogen supply of wheat in relation to method of cultivation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 10(3):243-258, Nov. 1987.
- TAMA, K. & EL-SWAIFY, S. A. Charge, colloidal and structural stability interrelationships for Oxidic soils. In: EMERSON et al., ed. **Modification of soil structure**. New York, Willey, 1978. p. 41-49.

- TEDESCO, M. J.; WOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1985. 188 p. (Boletim Técnico, 5)
- TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J. & MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 16(1):107-114, Jan/Abr. 1992.
- THOMAS, G. W.; BLEVINS, R. L.; PHILLIPS, R. E. & McMAHON, M. A. Effect of killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. **Agronomy Journal**, Madison, 65(5):736-739, Sep/Oct. 1973.
- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. & BETTANY, J. R. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. **Agronomy Journal**, Madison, 74(5):831-835, Sep/Oct. 1982.
- TISDALL, J. M.; COCKROFT, B. & UREN, N. C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. **Australian Journal of Soil Research**, Vitoria, 16(1):9-17, Mar. 1978.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a Red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Vitoria, 18(4):415-422, Nov. 1980a.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. The effect of crop rotation on aggregation in a Red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Vitoria, 18(4):423-433, Nov. 1980b.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, 33(2):141-163, June. 1982.
- TORRES, E.; NEUMAIER, N. & GARCIA, A. Sucessão soja-aveia preta. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de Pesquisa de Soja 1988/1989**. Londrina, 1989. p. 244-249. (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 43).
- UNGER, P. W. & FULTON, L. Conventional- and no-tillage effects on upper root zone soil conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 16(4):337-344, July. 1990.
- VAN RAIJ, B. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, 28(8):85-112, Mar. 1969.
- VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 19-31. (Circular, 23).

- VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* (L) Merr.) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2(3):209-214, Set/Dez. 1978.
- VIEIRA, M. J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19(7):873-882, Jul. 1984.
- VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A., ed. **Physical and mineralogical properties**. Madison, ASA, 1965. Part 1, p. 299-314. (Agronomy Monographs, 9).
- VOORHEES, W. B.; FARELL, D. A. & LARSON, W. E. Soil strength and aeration effects on root elongation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 39(5):948-953, Sep/Oct. 1975.
- WOOD, C. N.; WESTALL, D. G.; PETERSON, G. A. & BURKE, I. C. Impacts of cropping intensity on carbon and nitrogen mineralization under no-till dryland agroecosystems. **Agronomy Journal**, Madison, 82(6):1115-1120, Nov/Dec. 1990.
- WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H. & RANDALL, G. W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 25(1):17-33, Oct. 1992.
- YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, 28:337-351. 1936.

APÊNDICE

APÊNDICE 01. Resumo da análise de variância dos parâmetros densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e condutividade hidráulica saturada (Ks), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	Ds	PT	MIP	MAP	Ks
Quadrado Médio						
Londrina						
BLOCOS	3					
SISTEMA	5	0,159 **	151,63 **	78,77 **	445,60 **	193938,89 **
RESIDUO (A)	15	0,003	4,42	2,62	11,37	1223,40
PROF	3	0,159 **	148,26 **	119,28 **	442,27 **	107395,43 **
SIS*PRO	15	0,011 **	10,78 **	4,04 *	23,47 **	34919,62 **
RESIDUO (B)	54	0,002	2,01	1,88	5,76	561,06
CV (A)		2,26	1,65	1,88	8,10	21,27
CV (B)		3,67	2,22	3,19	11,52	28,81
Campo Mourão						
BLOCOS	3					
SISTEMA	5	0,210 **	228,55 **	114,05 **	658,77 **	484315,26 **
RESIDUO (A)	15	0,003	4,87	2,99	14,19	1130,88
PROF	3	0,104 **	123,67 **	55,46 **	322,45 **	303370,26 **
SIS*PRO	15	0,011 **	12,34 **	6,37	32,52 **	31907,57 **
RESIDUO (B)	54	0,002	3,37	3,19	10,80	1744,94
CV (A)		2,51	1,70	2,04	8,43	9,32
CV (B)		3,88	2,83	4,21	14,70	23,15

** , * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 02. Resumo da análise de variância do percentual de agregados estáveis em água e o diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	classes de agregados (mm)						DMG
		> 4,00	4,00-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	< 0,50	< 4,00	
		Quadrado Médio						
Londrina						Campo Mourão		
SISTEMA	5	3155,55 **	146,53 **	356,94 **	224,66 **	112,64 **	3155,42 **	7,88 **
RESIDUO (A)	15	63,31	11,10	9,35	11,48	16,90	63,29	0,14
PROF	1	6924,48 **	732,34 **	939,60 **	355,45 **	44,08 *	6923,52 **	6,42 **
SIS*PRO	5	454,99 **	17,58 *	61,14 **	38,70 **	17,57 *	454,96 **	0,57 **
RESIDUO (B)	18	50,69	5,71	5,76	7,26	5,45	50,72	0,10
CV (A)		11,22	15,95	14,30	21,11	33,71	11,28	10,21
CV (B)		14,20	16,18	15,87	23,74	27,08	14,28	11,95
BLOCOS	3							
SISTEMA	5	952,68 **	142,68 **	54,76 **	34,37 **	44,05 **	952,47 **	3,34 **
RESIDUO (A)	15	87,33	6,09	8,74	4,98	5,06	87,37	0,24
PROF	1	1106,98 **	224,86 **	86,35 **	41,35 **	6,55 NS	1107,36 **	1,78 **
SIS*PRO	5	143,30 **	15,74 **	12,06 **	5,28 *	6,40 *	143,18 **	0,41 **
RESIDUO (B)	18	31,46	3,14	2,82	2,23	2,39	31,48	0,09
CV (A)		8,69	18,45	38,28	37,34	32,71	27,53	9,22
CV (B)		7,38	18,74	30,73	35,37	31,80	23,37	8,04

**, * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 03. Resumo da análise de variância dos teores de C-orgânico e N-total no solo e na classe de agregados > 4,00 mm, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	C-org		N-total		C-org		N-total	
		> 4,00	solo	> 4,00	solo	> 4,00	solo	> 4,00	solo
		Quadrado Médio				Campo Mourão			
Londrina				Campo Mourão					
BLOCOS	3								
SISTEMA	5	1,34 **	0,25 *	0,0195 **	0,0192 **	0,97 **	0,31 **	0,0025 **	0,0089 **
RESIDUO (A)	15	0,06	0,07	0,0009	0,0003	0,10	0,07	0,0001	0,0003
PROF	1	2,23 **	4,36 **	0,0271 **	0,0439 **	2,89 **	3,53 **	0,0109 **	0,0459 **
SIS*PROF	5	0,15 *	0,28 **	0,0027 **	0,0047 **	0,05 NS	0,23 **	0,0013 **	0,0065 **
RESIDUO (B)	18	0,04	0,02	0,0002	0,0002	0,04	0,03	0,0001	0,0002
CV (A)		8,54	9,76	10,94	6,42	8,97	8,24	5,69	6,96
CV (B)		9,72	7,46	7,58	8,67	7,87	8,44	8,05	7,56

**, * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 04. Resumo da análise de variância dos parâmetros pH, Al, H+Al e Ca, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	pH	Al	H+Al	Ca	pH	Al	H+Al	Ca				
										Quadrado Médio			
										Londrina		Campo Mourão	
SISTEMA	5	0,92 **	0,021 **	2,241 NS	9,41 NS	1,04 **	2,64 **	25,85 **	17,45 **				
RESIDUO (A)	15	0,20	0,004	1,130	5,21	0,09	0,02	1,15	1,79				
PROF	1	0,42 **	0,006 NS	0,002 NS	23,20 **	1,33 **	0,08 **	0,99 NS	21,83 **				
SIS*PRO	5	0,08 NS	0,003 NS	0,704 *	5,53 **	0,11 **	0,05 **	2,18 *	1,32 **				
RESIDUO (B)	18	0,04	0,002	0,280	0,43	0,02	0,01	0,34	0,27				
CV (A)		6,19	59,67	14,77	26,35	4,69	22,87	10,43	33,70				
CV (B)		4,15	62,07	10,41	10,74	2,97	20,29	8,00	18,60				

**, * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 05. Resumo da análise de variância dos parâmetros pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC pH 7,0, em sete camadas, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	pH	C-org	N-total	CTC efetiva	CTC pH 7,0
Quadrado Médio						
Londrina						
BLOCOS	3					
SISTEMA	5	0,14 NS	0,195 *	0,0067 **	1,63 NS	0,49 NS
RESIDUO (A)	15	0,14	0,031	0,0001	2,33	1,46
PROF	6	3,53 **	11,50 **	0,117 **	291,64 **	292,34 **
SIS*PRO	30	0,29 **	0,52 **	0,009 **	11,55 **	17,28 **
RESIDUO (B)	108	0,06	0,05	0,001	1,84	1,52
CV (A)		7,43	12,37	7,89	22,54	10,60
CV (B)		4,86	10,82	10,23	14,06	8,51
Campo Mourão						
BLOCOS	3					
SISTEMA	5	0,31 **	0,048 *	0,0013 **	3,26 **	1,52 *
RESIDUO (A)	15	0,03	0,015	0,0001	0,53	0,64
PROF	6	5,15 **	7,66 **	0,092 **	176,38 **	161,10 **
SIS*PRO	30	0,40 **	0,70 **	0,006 **	8,64 **	4,70 **
RESIDUO (B)	108	0,03	0,02	0,001	0,75	0,97
CV (A)		4,08	6,86	7,78	22,63	8,20
CV (B)		3,83	6,40	9,32	15,80	8,01

**, * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 06. Resumo da análise de variância dos parâmetros de pH, C-orgânico, N-total, CTC efetiva e CTC pH 7,0, na camada de 0-40 cm, após 7,5 anos sob diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas em Londrina e Campo Mourão, Paraná.

CAUSAS	G.L.	Quadrado Médio	
		Londrina	Campo Mourão
----- pH -----			
BLOCOS	3		
SISTEMA	5	0,14 NS	0,31 **
RESIDUO	15	0,14	0,03
CV		7,43	4,08
----- C-orgânico -----			
BLOCOS	3		
SISTEMA	5	0,19 *	0,05 *
RESIDUO	15	0,03	0,01
CV		12,37	6,86
----- N-total -----			
BLOCOS	3		
SISTEMA	5	0,0067 **	0,0013 **
RESIDUO	15	0,0001	0,0001
CV		7,89	7,78
----- CTC efetiva -----			
BLOCOS	3		
SISTEMA	5	1,63 NS	3,26 **
RESIDUO	15	2,33	0,53
CV		22,54	22,63
----- CTC a pH 7,0 -----			
BLOCOS	3		
SISTEMA	5	0,49 NS	1,52 *
RESIDUO	15	1,46	0,64
CV		10,60	8,20

** , * e NS, significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.