

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTRUTURA, MICROMORFOLOGIA E MICROBIOLOGIA DO
SOLO EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO**

LORENA ADRIANA DE GENNARO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTRUTURA, MICROMORFOLOGIA E MICROBIOLOGIA DO
SOLO EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo, sob a orientação do Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza.

LORENA ADRIANA DE GENNARO

Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G285e Gennaro, Lorena Adriana De
Estrutura, micromorfologia e microbiologia do solo
em dois sistemas de manejo / Lorena Adriana De
Gennaro. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Zigomar Menezes de Souza.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Análise de imagem. 2. Solo - Preparo. 3. Solo -
Uso - Planejamento. 4. Feijão. I. Souza, Zigomar
Menezes de. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Soil structure, micromorphology and microbiology in two soil
management systems

Palavras-chave em Inglês: Image analysis, Soil preparation, Soil - Use - Planning, Bean

Área de concentração: Água e solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Mara de Andrade Marinho, Morel Passos e Carvalho

Data da defesa: 15/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Lorena Adriana de Gennaro**, aprovado pela Comissão Julgadora em 15 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI

Zigomar M. Souza

**Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**

Morel Passos e Carvalho

**Prof. Dr. Morel Passos e Carvalho – Membro Titular
FEIS/Unesp**

Mara de Andrade Marinho

**Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp**
**Prof. Dr. Mara de Andrade Marinho - Membro Titular
Feagri/Unicamp**

**Engenharia Agrícola
Unicamp**

"Os seres humanos são dotados de uma natureza tal que não deveriam apenas possuir bens materiais, mas deveriam antes possuir sustento espiritual. Sem o sustento espiritual, torna-se difícil adquirir e manter a paz de espírito."

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre estar em meu caminho e me iluminando;

Aos meus pais, Jorge e Luisa, pelo apoio, incentivo e por tudo que eles fizeram por mim para chegar até onde cheguei;

À minha irmã Alexandra, que mora sempre em meu coração;

À Kristerson Reinaldo de Luna Freire, por sempre estar me incentivando, apoiando e me desejando o melhor sempre;

Ao meu orientador, Dr. Zigomar Menezes de Souza, pelo mestrado;

Aos amigos de laboratório: Ronny, Fernando, Gustavo, Gilka e Rose Luiza;

Aos técnicos de laboratório: Júnior, Célia e Lucarelli;

À Laura Simões, pela grande parte da cooperação em micromorfologia do solo da minha dissertação e também ao Douglas Bizari, muito obrigada.

Ao Professor Dr. Miguel Cooper ESALQ/USP, por me conceder a sala de microscopia do Departamento de Ciência do Solo para a realização de minhas análises micromorfológicas e aos alunos de Pós-Graduação Selene, Raul e Daniel;

Aos meus amigos e amigas que acompanharam sempre a minha jornada de vida;

À CAPES, pela bolsa concedida, que me possibilitou condições para que realizasse meu trabalho de mestrado;

A todos,
Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Hipótese.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Geral	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Sistemas de manejo e estrutura do solo.....	4
3.2. Micromorfologia do solo.....	9
3.3. Microbiologia do solo.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Descrição da Área de Estudo e Solo.....	17
4.2. Parcelas Experimentais.....	17
4.3. Histórico de Uso e Manejo das Parcelas	19
4.4. Metodologia.....	20
4.4.1. Caracterização Física.....	20
4.4.2. Caracterização micromorfológica.....	22
4.4.3. Caracterização Microbiológica.....	25
4.4.3.1. Análise da Atividade Microbiana por Respirometria.....	25
4.4.3.2. Análise do Carbono da Biomassa Microbiana	25
4.4.3.3. Análise do Nitrogênio da Biomassa Microbiana.....	26
4.5. Avaliação da Cultura	26
4.6. Análises Estatísticas	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Atributos granulométricos e físicos do solo	27
5.2. Análise micromorfológica do solo	34
5.3. Atributos microbiológicos do solo	39
5.4. Indicadores biométricos da cultura do feijão.....	42
6. CONCLUSÕES.....	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP.....	18
Figura 2. Porcentagem de área total média dos tratamentos estudados por meio da análise de imagem, nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	35
Figura 3. Distribuição da área total de poros (ATP) de acordo com a forma e o tamanho dos poros, e imagens binárias correspondentes (os poros aparecem em branco e a fase sólida em preto) sob o preparo convencional e o sistema plantio direto, nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos das duas fases da pesquisa nas parcelas experimentais do Campo Experimental da FEAGRI.	20
Tabela 2. Critérios para distinção entre grupos de forma de poros e os seus tamanhos.....	24
Tabela 3. Caracterização granulométrica e relação silte/argila para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades.....	27
Tabela 4. Atributos físico-hídricos e teor de matéria orgânica para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, no ano de 2007.	28
Tabela 5. Atributos físico-hídricos e teor de matéria orgânica para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, no ano de 2008.	29
Tabela 6. Atributos microbiológicos do solo no sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, nos anos de 2007 e 2008.	40
Tabela 7. Dados dos indicadores biométricos da cultura do feijão para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC), nos anos de 2007 e 2008.....	43

RESUMO

O manejo agrícola afeta a estrutura do solo, modificando a porosidade, a densidade, a resistência do solo à penetração e a capacidade de retenção e de movimentação de água no solo. Este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos do manejo convencional e plantio direto sobre a estrutura do solo com enfoque na distribuição dos poros por meio de análise micromorfológica e na microbiologia do solo. O projeto foi desenvolvido no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP, em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (*Rhodic Hapludox*), com parcelas experimentais em blocos inteiramente casualizados, onde foram comparados os sistemas “preparo convencional com grade aradora” e “plantio direto”, com quatro replicações cada. Foram coletadas amostras para determinação dos atributos físicos, microbiológicos e micromorfológicos nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Os dados foram submetidos a análises da variância para tratamentos e blocos, e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados mostraram que o sistema plantio direto apresentou maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade do solo e macroporosidade na profundidade de 0,00-0,05 m. A condutividade hidráulica do solo e o diâmetro médio ponderado apresentaram os maiores valores na profundidade de 0,00-0,05 m no plantio direto. O plantio direto apresentou valores superiores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e inferiores para o quociente metabólico microbiano indicando maior qualidade biológica. A análise de imagem mostrou que o sistema plantio direto apresentou maior porcentagem de área total média de poros e maior número de poros complexos. Os indicadores biométricos da cultura foram superiores para o plantio direto. As análises microbiológicas, micromorfológicas do solo e biométricas da cultura indicaram que o plantio direto tem maior qualidade estrutural quando comparado com o preparo convencional.

Palavras-chave: Análise de imagem, preparo do solo, atributos do solo, feijão.

ABSTRACT

Agricultural management systems affects soil structure, changing the porosity, density, resistance to penetration as well as water retention capacity and water movement in soil. This research work aims to study the effects of conventional tillage and direct seedling on soil structure with emphasis on pore distribution as supported by micromorphological and microbiological soil analysis. The experimental part of this work was developed in the experimental field of FEAGRI/UNICAMP on a RED LATOSOL Dystroferric (Rhodic Hapludox), experimental plots in a completely randomized blocks systems and furtherly compared with "conventional tillage with harrow disc" and "no-tillage", with four replications each. Samples were collected to physical attributes, microbiological and micromorphological depths of 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m, 0.10-0.20 m, 0.20-0.40 m. Treatment and bloc data were processed by analysis of variation meanwhile the comparison of means had been carried by the Tukey test at 5% of probability. Results showed that direct seedling system presented higher soil density and lower porosity as well as macroporosity values at the depth interval of 0.00-0.05 m. Soil hydraulic conductivity and average pore diameter presented higher values at the depth interval of 0-0.05 m for the direct seedling system. Directed seedling system generated higher values of carbon and nitrogen associated to the soil microbial biomass and lower microbial metabolic quotient indicating higher biological quality. Image analysis showed that direct seedling system presented higher average total pore area and higher complex pores. Cultural indices showed to be higher for the direct seedling system. Soil microbiological and micromorfological analysis as well as culture biometrical analysis indicated that direct seedling system presents higher structural quality when compared with conventional soil tillage system.

Key words: Image analysis, soil preparation, soil properties, bean

1. INTRODUÇÃO

As mobilizações intensivas do solo, no preparo convencional, sob condições inadequadas de umidade e a falta de cobertura vegetal, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando basicamente as relações entre as fases sólida, líquida e gasosa. Já o plantio direto, é um sistema de manejo agrícola em que a semeadura das culturas é feita sem o preparo do solo, mantendo os restos culturais dos cultivos anteriores na superfície, minimizando os efeitos da erosão e mantendo o conteúdo de matéria orgânica. Esse sistema de manejo é eficaz na proteção da superfície do solo, devido ao uso da rotação de culturas, porém, não há o revolvimento do solo e pode ocorrer a formação de camadas compactadas na distribuição das pressões exercidas na superfície pelas máquinas e implementos.

Com isso, no plantio direto, os solos apresentam em geral na camada superficial, após três a quatro anos, maiores valores de densidade e menores de macroporosidade e porosidade total. O aumento da matéria orgânica com o tempo nesse sistema de manejo, pode reduzir a densidade e aumentar o volume de vazios do solo. Portanto, o tempo de adoção do plantio direto vai definir a qualidade do solo, com melhorias nos seus atributos físicos, químicos e biológicos.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo, por efeito dos diferentes sistemas de manejo, podem ser avaliadas pelas modificações na sua densidade, resistência do solo à penetração, porosidade, distribuição por tamanho do diâmetro dos poros, armazenagem e disponibilidade de água às plantas, dinâmica da água em superfície em profundidade.

Manejo do solo vai além de “plantas de cobertura e matéria orgânica”, englobando todas as operações realizadas nele, desde o seu preparo até a colheita, incluindo semeadura ou plantio, práticas culturais, aplicação de calcário, fertilizantes e pesticidas, irrigação e outros tratamentos executados ou aplicados no solo com o fim de garantir ou melhorar a produção de plantas.

Existem estudos como a aplicação da análise de imagem computadorizada que mede a porosidade e a estrutura do solo, em que se torna parte integral das pesquisas de solo, principalmente aquelas que avaliam o sistema de manejo, fornecendo bases quantitativas para descrição e levantamentos de solos, o que permite medidas exatas para componentes normalmente estimados visualmente no campo.

O revolvimento do solo pelo preparo provoca a ruptura dos agregados e exposição da matéria orgânica, a qual está atuando como agente de ligação entre microagregados ao ataque da biomassa microbiana. O preparo do solo também provoca a mistura do material orgânico com a sua fração mineral, resultando em condições mais favoráveis à decomposição desse material e, promovendo o aumento na atividade de biomassa microbiana devido à maior aeração e oferta de fonte de carbono facilmente oxidável, o que resulta em maior fluxo de mineralização do carbono.

O solo não será compactado quando, por outro lado, tornar-se um dreno de CO₂ atmosférico, ou seja, quando houver incremento de matéria orgânica decorrente de maiores adições do que perdas por oxidação de carbono. As medidas necessárias para promoção do incremento de matéria orgânica estão relacionadas à redução e/ou eliminação da intensidade de preparo do solo, intensificação de sistemas de rotação de culturas e restabelecimento de cobertura vegetal permanente. A primeira dessas medidas ocorre na prática de plantio direto, indicando um potencial desse sistema em causar o aumento da matéria orgânica do solo, o qual é constatado em experimentos de longa duração.

Com o aumento do tempo de uso do sistema plantio direto (SPD), os atributos físicos dos solos têm sido modificados, necessitando, portanto, de pesquisas com períodos de duração mais longos para estudar os fenômenos ligados à sua estrutura. Efeitos sobre alguns atributos do solo já são reportados na literatura, tais como: a densidade, que mostra tendência de aumento nos primeiros anos de cultivo e, com o passar dos anos, apresenta tendência de diminuição; o aumento da porosidade total e o aumento no tamanho de agregados. Entretanto, muitas dúvidas sobre o sistema persistem, sendo necessário obter informações sobre outras variáveis. Disto decorre ser fundamental o estudo mais detalhado incorporando a micromorfologia e a microbiologia do solo.

1.1. Hipótese

O sistema plantio direto proporciona melhores condições físicas, micromorfológicas e biológicas para o desenvolvimento e biometria do cultivar de feijão Carioca Precoce em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico quando comparado com o sistema convencional de preparo do solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Estudar os efeitos do manejo convencional e do plantio direto com relação a estrutura, micromorfologia e microbiologia do solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento e biometria do feijão irrigado.

2.2. Específicos

1. Determinar os atributos físicos indicadores de qualidade da estrutura do solo, para a cultura do feijão irrigado nos dois sistemas de manejo e em duas épocas de amostragem.

2. Avaliar a atividade microbiológica nos sistemas de manejo em estudo para estabelecer uma relação com a manutenção da estrutura do solo para a cultura do feijão irrigado.

3. Estudar e quantificar, por meio de estudos micromorfológicos, as modificações na porosidade, forma e orientação dos poros do solo para a cultura do feijão irrigado.

4. Quantificar por meio de análise micromorfológica os poros oriundos da atividade microbiológica para a cultura do feijão irrigado.

5. Avaliar em relação aos dois sistemas de manejo e duas épocas de amostragem a biometria da cultura do feijão irrigado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistemas de manejo e estrutura do solo

A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola. A ela estão relacionadas outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta-atmosfera, sendo que os diferentes sistemas de manejo do solo podem afetar este atributo.

A estrutura do solo ou microestrutura pode ser conceituada como o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em ambos os materiais agregados ou não, e o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes (BULLOCK et al., 1985). Estes agregados do solo são oriundos do resultado de floculação, cimentação, e arranjo das partículas do solo e são importantes unidades básicas da estrutura do solo (OADES, 1984), além de terem grande impacto sobre a fertilidade, sustentabilidade e qualidade dos solos (LIU et al., 2010).

Os Latossolos Vermelhos sob condição de vegetação são caracterizados por terem excelente estrutura, boas propriedades relacionadas aos aspectos de geometria de poros e boa atividade da matéria orgânica e da argila, sendo rápida a infiltração de água no solo. Entretanto, com as operações intensivas de preparo do solo, se deve, principalmente, ao fato de que as cargas das máquinas e implementos aplicadas na superfície produzem tensões que provocam a compactação das diferentes camadas do solo. Silva et al. (2003), afirmaram que o aumento progressivo das cargas externas, combinado com a insuflagem inadequada dos rodados, acarreta a degradação das propriedades físicas em profundidade, visto que o deslizamento causado pelas partículas superficiais do solo resultaram em um novo rearranjo e, conseqüentemente, em alterações na estrutura do solo.

A introdução de sistemas agrícolas em substituição a vegetação natural causa desequilíbrio ao ecossistema, modificando os atributos do solo, cuja intensidade varia com a natureza do solo, as condições de clima, uso e manejo adotados (GODEFROY e JACQUIN, 1975). Com o uso intensivo dos solos, geralmente ocorre a deterioração dos seus atributos físicos (COOTE e RAMSEY, 1983; PIRES et al., 2009). Modificações na densidade do solo e na porosidade do solo podem variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores de

matéria orgânica (REINERT et al., 2008) e da frequência de cultivo (HAJABBASI et al., 1997).

O sistema de manejo interfere no equilíbrio das condições físicas, químicas e biológicas do solo, influenciando sua capacidade produtiva. O uso agrícola intensivo com sistemas convencionais de preparo promove alto grau de mobilização e exposição do solo, degradando sua qualidade, especialmente pela compactação e a erosão acelerada, pondo em risco o uso sustentável (LAL, 1994).

Segundo Vieira e Muzilli (1984), os efeitos diferenciados sobre os atributos físicos devidos ao tipo de preparo de solo adotado em cada sistema de manejo são dependentes da intensidade de revolvimento, do trânsito de máquinas, do tipo de equipamento utilizado, do manejo dos resíduos vegetais e das condições de umidade do solo no momento do preparo. O manejo de máquinas e equipamentos agrícolas leva à formação de camadas subsuperficiais compactadas. Esse manejo tem sido apontado por CAMPOS et al. (1995), como sendo uma das principais causas de degradação da estrutura do solo e da redução da produtividade dos sistemas agrícolas.

Nos sistemas convencionais, o preparo do solo provoca maior revolvimento do solo, que aumenta seu volume, mas condiciona menor armazenamento de água na camada revolvida em relação à outra camada idêntica sem revolvimento (STONE e MOREIRA, 2000; REINERT et al., 2008). Aliado ao aspecto de armazenamento de água, menor temperatura à superfície em função da manutenção do solo coberto condiciona maiores conteúdos de água disponível para as plantas no perfil de solo com menor revolvimento (VIEIRA e MUZILLI, 1984; TAVARES FILHO et al., 2001; SILVA et al., 2006).

Em sistemas convencionais a compactação ocasionada pela mobilização intensiva acarreta consequências negativas na qualidade física do solo para o crescimento das plantas (TORMENA et al., 1998; MARCHÃO et al., 2009), devido à modificações na disponibilidade de água às plantas, na capacidade de difusão gasosa e na resistência do solo à penetração das raízes (STONE e SILVEIRA, 2001; SECCO et al., 2004). Segundo Carpenedo e Mielniczuk (1990), o preparo convencional rompe os agregados na camada preparada e acelera a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente na resistência dos agregados do solo.

O sistema de preparo convencional aumenta o volume de macroporos dentro da camada preparada (BERTOL et al., 2000), favorecendo a permeabilidade, o armazenamento de ar e o crescimento das raízes das plantas nessa camada (BRAUNACK e DEXTER, 1989; MARCOLAN e ANGHINONI, 2006), em relação ao plantio direto e ao campo nativo. No entanto, abaixo da camada preparada, contrariamente ao que ocorre no plantio direto e no campo nativo, esses atributos apresentam comportamento oposto ao da superfície (BERTOL et al., 2000). Além disso, os aspectos positivos dos preparos convencionais são perdidos, quando o solo descoberto pelo efeito do preparo é submetido ao impacto das gotas de chuva, que o desagregam superficialmente, o que diminui a taxa de infiltração de água (BERTOL et al., 2001) e aumenta o escoamento superficial e a erosão hídrica (BERTOL et al., 1997), em relação aos sistemas conservacionistas.

A compactação do solo leva ao aumento da densidade do solo, ao aumento da resistência do solo à penetração radicular, à redução da aeração, à alteração do fluxo de calor, além de afetar diversos atributos do solo como a condutividade hidráulica, a permeabilidade, a infiltração da água e outros atributos ligados à porosidade (DIAS JÚNIOR, 2000). Merotto Júnior e Mundstock (1999) relataram que com a compactação, ocorrem reduções significativas, principalmente no volume de macroporos, enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados. Silva e Kay (1997) salientaram que a microporosidade é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo decorrente do tráfego de máquinas e implementos.

O trabalho desenvolvido por Costa et al. (2003) demonstrou que o sistema de preparo convencional degradou as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo em relação a mata nativa, indicadas pelo aumento da densidade do solo e resistência do solo à penetração e pela diminuição da estabilidade de agregados. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Islam e Weil (2000), que constataram um valor médio da densidade do solo significativamente maior em área cultivada comparada com solo sob floresta natural. Também Silva e Ribeiro (1992) obtiveram resultados similares, comparando solo cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa. Sanches et al. (1999) constataram que, independentemente da posição da amostragem, seja na linha ou na entrelinha da cultura da laranja, a densidade do solo foi maior do que no solo sob mata nativa.

O sistema plantio direto é considerado um sistema conservacionista que se caracteriza por mínima mobilização do solo (apenas na linha de semeadura), rotação de culturas e manutenção de cobertura à superfície do solo. Esse sistema caracteriza-se ainda por apresentar na camada superficial até 0,2 m maior estabilidade estrutural e densidade do solo, assim como, menor porosidade total e macroporosidade em comparação com outros sistemas de manejo (BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990; BERTOL et al., 2000; STONE e SILVEIRA, 2001; SECCO et al., 2005; VIEIRA e KLEIN, 2007).

No sistema plantio direto, os restos culturais existentes na superfície do solo, promovem um ambiente distinto do que em solos descobertos. Alguns dos vários benefícios causados nesse ambiente diferenciado são a melhora na infiltração de água no solo (SECCO et al., 2005), diminuição da temperatura superficial e a maior atividade biológica (BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990).

O uso de sistemas conservacionistas, que englobam adubação verde, rotação de culturas e plantio direto, é capaz de elevar ou ao menos manter os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, reduzir as perdas de nutrientes via imobilização por microrganismos e liberar gradualmente nutrientes (ANDERSON e DOMSCH, 1982; AMADO et al., 1999). Isto ocorre de acordo com o tipo e qualidade do material adicionado à superfície, com a sequência de culturas adotada (MENGEL, 1996), com a forma de cultivar o solo e o tempo de adoção destas práticas. Os resíduos liberam carbono, nitrogênio e outros componentes durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO_2 , NH_3 , etc.), outra parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, pequena parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (STEVENSON, 1985).

O sistema plantio direto, quando comparada ao preparo convencional, diminui a velocidade de degradação da matéria orgânica do solo (MOS), pelo menor revolvimento deste e maior preservação dos resíduos vegetais em superfície. Hernani et al. (1999) observaram no sistema plantio direto, o aumento do estoque de carbono orgânico, nas camadas superficiais do solo e, conseqüentemente, aumento nos teores das frações orgânicas, o que sugere uma maior estabilidade do sistema plantio direto em comparação ao convencional.

No sistema plantio direto, o solo é submetido a menor tráfego, porém, não é revolvido, tendendo a compactação superficial do solo. A compactação tem sido verificada pelo aumento da densidade do solo e da microporosidade, da diminuição da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade (SIDIRAS et al., 1984), sendo estas variações mais frequentes em solos de textura argilosa (RAGHAVAN et al., 1976). Stone e Silveira (2001) também afirmaram que o sistema plantio direto proporcionava maiores valores de densidade e microporosidade e, em consequência, menor porosidade total e macroporosidade.

Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência do solo à penetração, que descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (PEDROTTI et al., 2001). Os níveis críticos de resistência do solo para o crescimento das plantas variam com a classe de solo, com a espécie cultivada e com o teor de água no solo. Ehlers et al. (1983), Canarache (1990) e Merotto Júnior e Mundstock (1999) indicaram valores de 2,0; 3,5 e 5,0 MPa, respectivamente, como sendo o limite crítico de resistência à penetração de raízes. Muitos pesquisadores, contudo, utilizam o valor de 2,0 MPa como o limite crítico, conforme Taylor et al. (1966).

Em sistemas conservacionistas, a resistência do solo à penetração é reduzida em relação ao preparo convencional, pois nestes sistemas ocorre uma maior continuidade de poros relacionada a maior concentração de bioporos. Poros formados pela ação das raízes no solo são mais estáveis, pois a decomposição dessas por microrganismos gera materiais que atuam como cimentantes nas paredes desses poros, proporcionando maior durabilidade, se comparados com aqueles formados por implementos mecânicos (CASTRO et al., 2003).

Segundo Fernandez et al. (1995), ocorreu uma completa inibição do crescimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, quando a densidade do solo apresentou valor a partir de $1,52 \text{ kg dm}^{-3}$. Por outro lado, Tavares Filho et al. (2001) concluíram que o plantio direto apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular do milho, quando comparado com o sistema convencional. Apesar da prática do plantio direto acarretar compactação superficial, este proporciona melhor estruturação e agregação, conseqüentemente maior movimento de água no interior devido uma melhor distribuição da porosidade, maior presença de bioporos, ou seja, poros oriundos da atividade biológica.

A reestruturação depende do sistema de manejo que será usado no seu preparo. A adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo por meio do contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção de uma boa estrutura. O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados (CAMPOS et al., 1995). Castro Filho et al. (1998), estudando um Latossolo Vermelho de Londrina, no Paraná, concluíram que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície como consequência da adoção do sistema plantio direto melhorou o estado de agregação graças ao incremento do teor de carbono orgânico, sobretudo na camada de 0,00-0,10 m, independentemente da sucessão de culturas.

Alguns atributos físicos do solo, como densidade do solo, espaço poroso, movimento de água no solo e estabilidade de agregados, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo do solo quando se objetiva estabilidade estrutural. Portanto, o estudo da estrutura do solo em sistema convencional e conservacionista é de extrema importância, uma vez que sistemas conservacionistas têm apresentado melhorias na qualidade física do solo.

3.2. Micromorfologia do solo

A micromorfologia do solo vem mostrando-se como uma técnica muito eficiente e útil para observar as possíveis alterações que o manejo acarreta na microestrutura do solo, influenciando também na macroestrutura. É uma ferramenta que permite observar a estrutura do solo na sua forma natural, possibilitando melhor visualização no comportamento da estrutura e do espaço poroso em áreas sob processo de degradação.

A estrutura do solo ou microestrutura pode ser conceituada como o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em materiais agregados ou não e, o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes (BULLOCK et al., 1985). A importância da estrutura ao crescimento das plantas é empírica quando se considera apenas a característica de agregados. Além da estrutura, Southorn (2002) considerou também a densidade de partículas e a granulometria do solo entre os diversos fatores de variação da porosidade e da distribuição

do tamanho de macro e microporos. Geralmente, a caracterização granulométrica do solo é relativamente estável enquanto a estrutura é facilmente degradada e modificada.

A visualização da estrutura do solo no campo possibilita a verificação de alterações impostas pelo sistema de preparo e pelo tipo de cultura praticada. Porém, para o estudo detalhado de determinadas modificações, em escala milimétrica ou micrométrica, faz-se necessário a utilização de aparelhos microscópicos e lâminas delgadas, para melhor visualização dos constituintes da sua estrutura (CASTRO et al., 2003).

Na atualidade, a análise micromorfológica tem sido bastante utilizada para detectar mudanças de atributos físicos do solo em associação com outras análises de campo e laboratório. Segundo Castro et al. (2003), até meados da década de 1980, a micromorfologia do solo foi bastante utilizada quase que exclusivamente para estudos pedogenéticos, procurando elucidar problemas ligados aos processos de formação do solo. A partir de então, essa tendência tem mudado, passando a micromorfologia de solos a ser utilizada em outras áreas da ciência do solo. A aplicação tem se destacado mais no âmbito das ciências agrárias, no estudo da estrutura e porosidade do solo, com ênfase no manejo e conservação do solo e da água.

O uso de técnicas de análise de imagens para estudos quantitativos e qualitativos da estrutura do solo tornou-se mais comum na literatura, com o advento de equipamentos e programas (*softwares*) mais acessíveis (VIANA et al., 2004; SOUZA et al., 2006). Estas técnicas, associadas a micromorfologia, permitem o estudo quantitativo de modificações estruturais em amostras indeformadas, após seu preparo e sua montagem em lâminas.

Em estudos quantitativos da porosidade do solo, dentre as variáveis da imagem que podem ser determinadas, incluem-se a porosidade total, densidade de perímetro e número de objetos que aparecem na imagem. A porosidade total é a estimativa da porosidade de uma imagem obtida da relação entre o número de pixels da fase porosa e o número total de pixels da imagem binária (HALLAIRE e COINTEPAS, 1993).

Vários estudos por meio de técnicas micromorfológicas têm demonstrado que o cultivo altera a porosidade, promovendo modificações nos atributos físicos (MIEDEMA, 1997; COOPER, 1999; FOX et al., 2004; SOUZA et al., 2006). A tendência atual dos estudos sobre o funcionamento hídrico dos solos é utilizar informações de seções delgadas para o

desenvolvimento de modelos que possam prever a estrutura da porosidade do solo (COOPER e TORRADO, 2005).

O espaço poroso, incluindo a sua distribuição por tamanho, influi efetivamente nos fenômenos como o armazenamento e movimento de água e gases, penetração de raízes, definindo a produtividade das culturas ou plantas em geral. Contudo, a estrutura do solo é difícil de ser definida ou quantificada (SOUTHORN, 2002). Por isso, a estimativa da distribuição do tamanho de poros é um importante atributo. Atualmente, a análise de imagens é usada cada vez mais para determinar o tamanho dos poros e sua distribuição. Souza et al. (2006), estudando a micromorfologia do solo e sua relação com atributos físico-hídricos, verificaram que a análise de imagem é um bom indicador na modificação da estrutura causada pelo manejo do solo.

O monitoramento da distribuição das classes de poros e o estudo da permanência dos bioporos em áreas sob cultivo são de grande relevância, visto que a redução destes pode diminuir a condutividade hidráulica dos solos saturados (CURMI et al., 1994) e a produção agrícola (MIEDEMA, 1997; VANDENBYGAART et al., 1999; SOARES et al., 2005 a e b). Curmi et al. (1994), estudando a degradação da estrutura dos solos cultivados, verificaram que os poros texturais, provenientes do arranjo das partículas elementares do solo, não são afetados pelo processo de manejo; os poros estruturais tem seu tamanho e formato reduzido e, os poros provenientes da atividade biológica (bioporos), tipo canais, desaparecem, quando submetidos a processos de compactação.

Portanto, o uso de técnicas micromorfológicas representa uma nova visão para diagnósticos mais precisos de alterações na estrutura do solo, bem como de seus atributos físicos diretamente relacionados com a sua qualidade física.

3.3. Microbiologia do solo

O uso racional dos recursos naturais sem grandes perturbações dos ecossistemas é hoje uma questão prioritária na pauta de discussão sobre o ambiente, uma vez que o homem necessita retirar da natureza os meios para seu sustento e desenvolvimento, utilizando tais recursos de forma equilibrada e com um mínimo de impacto ambiental.

Os ecossistemas naturais apresentam uma integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, as atividades agrícolas promovem alterações nesses atributos e provocam, na maioria das vezes, impacto ambiental negativo. As práticas agrícolas estão relacionadas com o tipo de sistema de manejo, como o plantio direto e o uso de coberturas vegetais, propiciando menor degradação do solo e maior sustentabilidade agrícola (KAISER et al., 1995; CAIRES et al., 2003).

Os organismos celulares que fazem parte da comunidade microbiana do solo são classificados nos seguintes grupos: bactérias, fungos e protozoários (BRANDÃO, 1992). As bactérias constituem uma maior dominância, de acordo com Alexander (1977), representando 25% a 30% da biomassa microbiana dos solos agrícolas, onde desempenham várias funções: fixação de nitrogênio, nitrificação-desnitrificação, decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, entre outras. Para Carter (1986), o carbono da biomassa microbiana apresenta-se como indicador das alterações da matéria orgânica que são provocadas pelo cultivo do solo.

Em pesquisa desenvolvida por Brandão Junior (2005), utilizou-se o quociente metabólico (relação entre o C-CO₂ e o C- microbiano) e com a adição da sacarose, acelerou o processo de decomposição, para comparações entre os sistemas plantio direto e convencional, onde observou menor valor dessa relação para o sistema plantio direto, com menores perdas de CO₂.

A avaliação dos atributos biológicos do solo vem se adequar a maioria dos critérios para a seleção de um indicador de qualidade do solo, apesar deste componente ter sido desconhecido, em inúmeros estudos, como um importante aspecto da funcionalidade do ecossistema. Entretanto, características microbianas do solo estão sendo cada vez mais avaliadas como indicadores sensíveis de sua qualidade (LEIRÓS et al., 2000; MURAGE et al., 2000; GARCIA et al., 2004), dado o relacionamento entre a atividade e diversidade microbianas, qualidade do solo e da vegetação e sustentabilidade do ecossistema (DORAN e PARKIN, 1994).

Numerosos processos bioquímicos ocorrem no solo, por causa da atividade microbiana, com efeitos sobre os seus atributos físicos e químicos e reflexos sobre o

desenvolvimento das plantas, produtividade agrícola e qualidade do ambiente (BALOTA, 1997; PÔRTO et al., 2009). A biomassa microbiana representa o compartimento central do ciclo do carbono no solo e, de acordo com as condições edafoclimáticas do ecossistema e da composição dos resíduos vegetais sobre sua superfície, pode funcionar como compartimento de reserva (nutrientes facilmente disponíveis) ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica. Tanto a quantidade como a qualidade dos resíduos vegetais nos sistemas produtivos podem causar alterações na comunidade microbiana.

Os microrganismos do solo são de grande importância para a nutrição das plantas, por estabelecerem simbioses com certas espécies de plantas. As associações entre raízes e determinados fungos do solo, denominadas micorrizas, auxiliam as plantas, melhorando seu estado nutricional, proporcionando maior adaptabilidade ao ecossistema, maior capacidade de sobrevivência de mudas transplantadas, redução nas perdas provocadas por fatores bióticos, maior produtividade em solos pouco férteis e maior tolerância da planta aos estresses abióticos (SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

Embora os atributos químicos e físicos do solo e seus efeitos no crescimento das plantas sejam intensamente investigados, apenas recentemente tem sido dada atenção aos aspectos envolvendo a atividade microbiana no solo (BATRA e MANNA, 1997). É essencial que se disponha de indicadores de sustentabilidade, que quantifiquem e indiquem o grau de conservação de um dado sistema, e permitindo seu monitoramento (DE-POLLI e PIMENTEL, 2005; PEREIRA et al., 2007). Entre os atributos biológicos mais utilizados pela pesquisa, destacam-se o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, taxa de respiração, quociente metabólico, quociente microbiano e nitrogênio microbiano (KARLEN et al., 1997; DE-POLLI e PIMENTEL, 2005).

A comunidade microbiana do solo é influenciada pela temperatura, umidade e aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e pelos substratos orgânicos. Estes fatores, por sua vez, podem ser modificados pelo sistema de manejo, em razão da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados e do grau de revolvimento do solo (VARGAS e SCHOLLES, 2000). Com o sistema plantio direto, os resíduos são mantidos na superfície e o revolvimento limita-se à linha de plantio. A manutenção dos resíduos culturais na superfície altera o regime térmico do solo, conserva a sua umidade, diminui as perdas de solo por erosão

e aumenta a proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

A biomassa e a atividade microbiana seguem o mesmo padrão de distribuição dos resíduos e da matéria orgânica ao longo do perfil do solo (ALVAREZ et al., 1995). O acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes favorece o crescimento e a atividade microbiana na camada superficial do solo sob sistema plantio direto (VARGAS e SCHOLLES, 2000; VARGAS et al., 2005). Portanto, o aumento da biomassa microbiana acarretam em uma maior imobilização de nitrogênio (VARGAS e SCHOLLES, 1998).

No sistema plantio direto há maior disponibilidade dos compostos nitrogenados na camada superficial do solo (SALINAS-GARCIA et al., 1997), o que pode estimular a população bacteriana. Aslam et al. (1999) encontraram relações C:N menores na biomassa microbiana em solo sob plantio direto em duas das três avaliações realizadas. Estes resultados indicaram que ao menos em determinados períodos, a biomassa microbiana no sistema plantio direto pode ser predominantemente bacteriana, apresentando uma relação C:N menor do que a do sistema convencional, o que resultaria em um maior potencial de imobilização de nitrogênio.

O efeito dos sistemas de manejo sobre a microbiota não se restringe a aspectos quantitativos, como as alterações da biomassa do solo. Também, a composição da comunidade microbiana pode ser alterada, pois os grupos microbianos podem ser afetados diferentemente pelas práticas de manejo (VARGAS et al., 2004). O preparo frequente do solo, por exemplo, pode ocasionar o rompimento físico de hifas (CALDERÓN et al., 2001), prejudicando a população fúngica. Assim, a população de fungos seria favorecida no sistema plantio direto, podendo até mesmo ser predominante. No entanto, Allison e Killham (1988) constataram um aumento da população fúngica após a incorporação da palha de cevada, indicando que o aumento da população de fungos deve-se mais à qualidade do resíduo do que à sua forma de disposição no solo.

Quando a biomassa microbiana se encontra sob algum fator de tensão (deficiência de um nutriente, acidez, entre outros), a capacidade de utilização do carbono e do nitrogênio é aumentada. Anderson e Domsch (1993) afirmaram que o incremento do carbono e do nitrogênio microbiano, após mudanças do sistema de uso do solo, induz ao aumento subsequente do carbono e nitrogênio orgânico e vice-versa. O carbono da biomassa

microbiana (C_{mic}) e o nitrogênio da biomassa (N_{mic}), bem como as razões C_{mic}/C_{org} e N_{mic}/N_{total} são índices úteis para monitorar as transformações da matéria orgânica do solo (TÓTOLA e CHAER, 2002).

Mudanças do sistema de cultivo refletem na biomassa microbiana do solo, que corresponde por grande parte da dinâmica de decomposição do material orgânico. Quando há pouca mobilização do solo, existe tendência de menor disponibilidade de nutrientes pela redução da mineralização dos resíduos vegetais e aumento da imobilização pela biomassa microbiana (VARGAS e SCHOLLES, 1998). Segundo Anderson e Domsch (1989), a quantidade de nutrientes de plantas retida nos tecidos microbianos é substancial, atingindo 2,5% do carbono total e 5% do nitrogênio total do solo.

Os microrganismos exercem papel fundamental na formação de substâncias húmicas, seja pela síntese de produtos (TATE, 1987), seja de enzimas que catalisam processos de polimerização, seja pela participação em etapas de processos que ocorrem em múltiplos estádios até à formação de ácido húmico e fúlvico (STEVENSON, 1985). Segundo Pizauro Júnior e Melo (1995), o estágio de mineralização da matéria orgânica e a incorporação de nitrogênio à estrutura húmica podem ser avaliados de acordo com a predominância de uma ou outra fração química.

A decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais dependem da atividade microbiana e a avaliação da biomassa microbiana fornece informações importantes para o entendimento da ciclagem de nutrientes (PAUL e CLARK, 1989). Por apresentar rápida ciclagem, este atributo microbiológico responde intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos, sendo um indicador mais sensível das mudanças nos níveis de matéria orgânica do que o teor de carbono orgânico (ANDERSON e DOMSCH, 1989; SPARLING, 1992). Contudo, mais importante que o valor absoluto da biomassa microbiana é o estudo das relações entre a biomassa e a atividade microbiana e atributos químicos para o melhor entendimento sobre a funcionalidade do sistema em estudo.

A necessidade de dispor de bioindicadores sensíveis às mudanças provocadas pelo manejo do solo deve promover o desenvolvimento da pesquisa na área da biologia do solo no Brasil. São necessários estudos que avaliem a qualidade do solo de modo a fundamentar a análise dos fatores que comprometem o uso sustentável dos recursos naturais, permitindo a

obtenção de índices de qualidade do solo, que por sua vez, favoreçam uma avaliação integrada dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da Área de Estudo e Solo

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, situado no município de Campinas (SP), nas coordenadas geográficas 22°48'57" de latitude sul e 47°03'33" de longitude oeste e, altitude de 650 m. O solo da área experimental, de acordo com EMBRAPA (2006), pertence ao subgrupo do LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico (*Rhodic Hapludox*, SOIL TAXONOMY).

4.2. Parcelas Experimentais

O trabalho foi conduzido em oito parcelas experimentais, com área de 600 m² cada, sendo 30 m de comprimento no sentido da maior declividade do terreno, de 0,09 m m⁻¹, por 20 m de largura. Os talhões têm exposição Oeste e orientação Norte-Sul. Foram testados dois tratamentos, correspondentes aos sistemas de manejo convencional (grade aradora) e plantio direto, com quatro replicações cada. A Figura 1 ilustra a vista aérea do Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP com as oito parcelas experimentais onde foi instalada a pesquisa. A área adjacente à parcela 8 ilustra a parcela memória, mantida em pousio desde a instalação das parcelas experimentais.

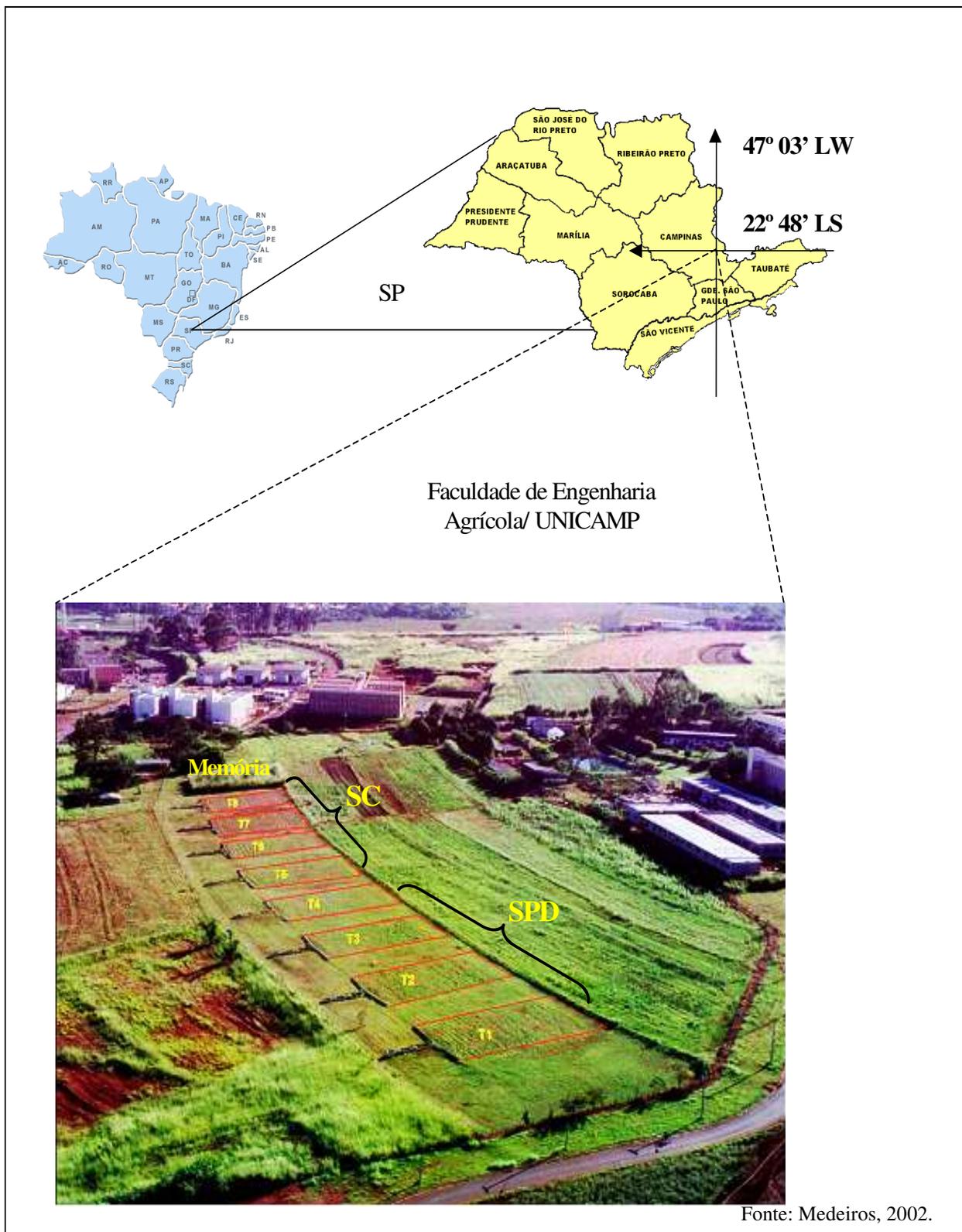


Figura 1: Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP.

O solo da área experimental pertence à classe dos Latossolos Vermelhos Distroféricos típicos, um tipo de solo homogêneo, argiloso, rico em óxidos de ferro e de baixa saturação por bases. Na área da pesquisa, o manejo com calagem e adubação mineral condiciona caráter epieutrófico. A classificação anterior dessa classe, segundo OLIVEIRA e MENK (1984) era Latossolo Roxo epieutrófico, A moderado ou proeminente, textura argilosa ou muito argilosa (Typic Haplorthox, na classificação americana; Rhodic Ferralsol, na legenda da FAO).

De acordo com detalhamento semidetalhado dos solos do estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1979), este solo pertence à Unidade Barão Geraldo, caracterizando-se por ser um solo profundo ou muito profundo, de textura argilosa ou muito argilosa, sendo o teor médio de argila de 610 g kg^{-1} , a estrutura é forte, muito pequena granular; e a consistência, úmida, friável e muito friável.

No sistema plantio direto o material foi dessecado com herbicida Roundup (glifosato) e após esse manejo foi feita a semeadura com máquina específica para o plantio direto. Na semeadura do feijão irrigado, cultivar Carioca Precoce, utilizou-se o espaçamento entre linhas de 0,45 m, 12 sementes por metro e população de 230.000 plantas por ha. A emergência das plântulas ocorreu 08 dias após a semeadura, tendo o desenvolvimento da cultura estabelecido durante o período de inverno. A adubação foi realizada com formulação pronta de 4-14-8 e cobertura com nitrogênio aos 25 dias.

O controle fitossanitário empregado na área experimental foi realizado para a Antracnose (*Colletto Thichun Indemuthianum*), Cercobin 700 PM (*Thiofanato Metílico*) na dose de $0,7 \text{ g l}^{-1}$ em água do produto comercial e, pelas aplicações para o controle de formiga, o formicida Mirex nas doses recomendadas do produto comercial.

4.3. Histórico de Uso e Manejo das Parcelas

A segunda fase de ensaios na área das parcelas experimentais teve início em agosto de 2003. Para caracterização da condição presente do solo em cada parcela, procedeu-se à amostragem do solo para determinação dos atributos físicos, microbiológicos e micromorfológicos.

Após a amostragem para caracterização do solo, procedeu-se uma escarificação a 0,30 m de profundidade em todas as parcelas com o objetivo de uniformização da condição

física do solo, visando à implantação do novo ensaio. Nesta nova fase, manteve-se o talhão memória como referência, tendo sido implantados apenas dois tratamentos: sistema plantio direto (SPD), com utilização de herbicidas para controle de plantas invasoras e mobilização do solo apenas na linha de plantio com semeadora/adubadora específica e, sistema convencional (SC), com preparo do solo com uma gradagem pesada a 0,10 m de profundidade, seguida de uma gradagem de destorroamento/nivelamento na época da semeadura, ambos com quatro replicações cada. Para fins de informação da história de uso do solo na área experimental, são indicados na Tabela 1, os tratamentos aplicados a cada parcela no ensaio anterior e no ensaio atual.

Tabela 1. Tratamentos das duas fases da pesquisa nas parcelas experimentais do Campo Experimental da FEAGRI.

Número da Parcela	Ensaio Anterior	Ensaio Atual
1	T1 - Grade Aradora	PD - Plantio direto
2	T2 - Escarificação	PD - Plantio direto
3	T3 - Sistema Alternado	PD - Plantio direto
4	T4 - Plantio direto	PD - Plantio direto
5	T5 - Arado de Disco em Nível	PC - Plantio Convencional
6	T6 - Roçado	PC - Plantio Convencional
7	T7 - Arado de Disco Morro Abaixo	PC - Plantio Convencional
8	T8 - Enxada Rotativa	PC - Plantio Convencional
9	T9 - Parcela Memória	PM - Parcela Memória

4.4. Metodologia

4.4.1. Caracterização Física

A caracterização física do solo foi efetuada nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, para os dois anos, após a colheita da cultura de inverno

que se sucedeu em 96 e 83 dias após emergência (DAE), para o ano de 2007 e 2008, respectivamente. Em 5 locais distribuídos aleatoriamente na parcela.

a) **Análise granulométrica** – foi realizada pelo método da pipeta, utilizando-se solução de NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação (CAMARGO et al., 1986). A areia grossa e fina foram separadas por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

b) **Densidade do solo e porosidade do solo** – amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 0,04 m de altura e 0,05 m de diâmetro, a microporosidade foi determinada em mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação (EMBRAPA, 1997). A porosidade total e a densidade do solo foram determinadas segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997) e, a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

c) **Estabilidade de agregados** – foi medida pelo método descrito por Kemper e Chepil (1965), no qual os agregados foram obtidos mediante manipulação com as mãos, aplicando força de tração, sendo usados para peneiramento em água os agregados que passaram na peneira de 9,52 mm e foram retidos na de 4,76 mm. Após secagem ao ar, os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 4,76 mm por dez minutos. Para peneiramento dos agregados em água, foram utilizadas as peneiras com diâmetros de malha 6,35, 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm, separando os agregados nas seguintes classes: C1 (9,52-4,76 mm), C2 (4,76-2,0 mm), C3 (2,0-1,0 mm), C4 (1,0-0,5 mm), C5 (0,5-0,25 mm) e C6 (< 0,25 mm).

d) **Teor de água do solo e resistência do solo à penetração** – o teor de água no solo foi obtido pelo método gravimétrico em amostras deformadas (EMBRAPA, 1997). Para determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30⁰. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (impacto/decímetro) em resistência à penetração foi obtida pela fórmula de STOLF (1991), a seguir:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

em que, R é a resistência à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² * 0,0981 = MPa); M é a massa do êmbolo, 4 kg (Mg – 4 kgf); m é a massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (mg – 3,2 kgf); h é a altura de queda do êmbolo, 40 cm; x é a penetração da haste do aparelho, impacto/dm, e A é a área do cone, 1,29 cm².

e) **Condutividade hidráulica do solo saturado avaliado no campo** - a condutividade hidráulica do solo saturado no campo e a velocidade de infiltração básica do solo foram avaliadas por meio do permeâmetro de Guelph (VIEIRA, 1998), cujo funcionamento é baseado no princípio de Mariotte. Foi medida a taxa constante de infiltração e se calculou a condutividade hidráulica do solo saturado no campo (Kfs) segundo Reynolds e Elrick (1985). Feitas as medições, estas foram ajustadas ao sistema de equações propostas por Vieira (1998), as quais são:

$$Q_1 = \left(\frac{2\pi H_1^2}{C_1} + \pi a^2 \right) Kfs + \left(\frac{2\pi H_1}{C_1} \right) \phi_m \quad (2)$$

$$Q_2 = \left(\frac{2\pi H_2^2}{C_2} + \pi a^2 \right) Kfs + \left(\frac{2\pi H_2}{C_2} \right) \phi_m \quad (3)$$

em que, Kfs (cm s⁻¹) é a condutividade hidráulica do solo saturado no campo, ϕ_m (cm² s⁻¹) é o potencial matricial do fluxo, Q (cm³ cm⁻³) é o fluxo constante, H (cm) é a carga hidráulica, C (cm cm⁻¹) é um fator de geometria, e a (cm) é o raio do orifício onde as medições foram feitas. A solução das equações Q₁ e Q₂ gera valores de Kfs em cm h⁻¹.

4.4.2. Caracterização micromorfológica

Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m em caixas de papelão 12 x 7 x 5 cm. Foi aberta uma trincheira de 2 x 3 x 1,8 m de profundidade por parcela na parte superior da parcela para coleta das amostras para realização da análise micromorfológica no primeiro ano, mês de setembro de 2007. Após a coleta, as

amostras foram levadas em laboratório específico de micromorfologia, secas ao ar por 10 dias e em estufa à 35°C por 4 dias.

Para manter a porosidade funcional do solo as amostras passaram por um processo de impregnação com resina poliéster não saturada, diluída com monômero de estireno e misturada com um pigmento fluorescente (Uvitex OB) que permite a distinção dos poros quando iluminados com luz ultravioleta (MURPHY, 1986; COOPER, 1999).

Imagens digitalizadas foram adquiridas a partir dos blocos polidos com dimensão de 10 x 6,5 cm, utilizando uma câmera CCD monocromática com uma resolução de 1024 x 768 pixel's e com uma área por pixel de 156,25 μm^2 , com resolução espectral de 256 níveis de cinza. As imagens foram processadas utilizando o programa de análise de imagens Visilog 5.4 (Noesis). A porosidade total (tap) foi calculada como a soma das áreas de todos os poros dividida pela área total do campo, a qual foi expressa em porcentagem. Os poros foram divididos em três grupos em função da sua forma: arredondados (canais e cavidades isoladas), alongados (fissuras) e complexos (empacotamento ou poros interligados). O índice de forma é um parâmetro que permite dar informações cifradas sobre a forma de um objeto (COSTER e CHERMANT, 1989). Diferentes índices de forma são utilizados em análises de imagens de solos (MURPHY et al., 1977a; RINGROSE-VOASE e BULLOCK, 1984 e RINGROSE-VOASE, 1996). Dois índices foram utilizados para determinar a forma dos poros:

$$I_1 = \frac{P^2}{(4\pi A)} \quad (4)$$

em que, P é o perímetro do poro e A sua área, e

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_I)_i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F)_j} \quad (5)$$

em que, N_I é o número de interceptos de um objeto na direção i ($i = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 135°), D_F é o diâmetro de Feret de um objeto na direção j ($j = 0^\circ$ e 90°), m é o número de i direções e n é o número de j direções. Este segundo índice I_2 , é utilizado como complemento ao índice I_1 para

obter uma maior precisão na separação entre os grupos de formas arredondados, alongados e complexos. Os critérios para a distinção entre os grupos de forma e os seus tamanhos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para distinção entre grupos de forma de poros e os seus tamanhos.

Poros	Índices de forma		
	I_1	I_2	
Arredondados (Arr)	$I_1 \leq 5$	---	
Alongados (Alon)	$5 < I_1 \leq 25$	$\leq 2,2$	
Complexos (Comp)	$5 < I_1 \leq 25$ ou > 25	$> 2,2$	

Limites de classes de tamanho (mm^2)	Classes de forma		
	Arredondados	Alongados	Complexos
0,000156 – 0,0156	Arr _p	Alon _p	Comp _p
0,0156 – 0,156	Arr _m	Alon _m	Comp _m
> 0,156	Arr _g	Alon _g	Comp _g

Fonte: Cooper, 1999.

Canais, cavidades isoladas e poros tubulares pertencem à categoria de poros com índice de forma $I_1 \leq 5$. Os poros que resultam da assembléia de agregados ou de partículas elementares e de poros de diversos tipos, interconectados formando nos dois casos, uma rede poral de tamanho grande de formas muito contornadas, pertenciam à categoria de poros caracterizada por um índice de forma $I_1 > 25$. Dentro da gama de índices de forma I_1 , compreendido entre 5 e 25, coexistem poros alongados e poros de forma complexa, de tamanho menor, em geral, que os precedentes.

A determinação da orientação dos poros foi realizada com base nos diâmetros verticais (F_v) e horizontais (F_h) de Feret, usando a seguinte fórmula: $+\left(\frac{F_v}{F_h}\right)-1$ ou $-\left(\frac{F_h}{F_v}\right)-1$. Em que o numerador é o valor maior (MURPHY et al., 1977b). Para os dados de orientação foram considerados apenas os poros alongados. A quantificação do tamanho, forma e tipo de poros nos blocos polidos foi realizada por meio de observações visuais em microscópios petrográficos, de acordo com Bullock et al. (1985).

4.4.3. Caracterização Microbiológica

A caracterização microbiológica do solo foi efetuada nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, para os dois anos, após a colheita da cultura de inverno, em 5 locais distribuídos aleatoriamente na parcela.

4.4.3.1. Análise da Atividade Microbiana por Respirometria

Amostras de 100 g de terra fina seca ao ar foram transferidas para frascos apropriados (bem vedados), umedecidas com H₂O destilada com volume correspondente a 60% da capacidade de retenção de água do solo. Foi medido o CO₂ liberado pela respiração de acordo com o método de ALEF (1995), o qual reagiu com NaOH 0,1N e foi titulado com HCl 1N, tendo como indicador a fenolftaleína, após 4 dias de incubação a 25-28°C. Foram mantidos frascos controle ou branco, que não continham amostra de solo. O cálculo foi realizado baseado na diferença entre o volume de HCl consumido pelas amostras e pelo "branco" e expresso em $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

4.4.3.2. Análise do Carbono da Biomassa Microbiana

Foi utilizado o método da fumigação-extração de acordo com Vance et al. (1987), que analisa a biomassa microbiana extraível em solução aquosa de K₂SO₄ a 0,5 M. A fumigação de 20 g de terra fina seca ao ar foi realizada com clorofórmio, por 5 dias a 28°C em ambiente escuro, que além de matar, promove a lise das células microbianas liberando o citoplasma para o solo, permitindo a extração do carbono da biomassa microbiana. A mesma quantidade de solo não foi fumigada, fazendo-se a extração direta com K₂SO₄ a 0,5 M.

Os extratos de solo obtidos, fumigado e não fumigado, foram submetidos à digestão com solução de dicromato de potássio. Em seguida foi adicionado indicador ferroína e procedeu-se à titulação com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal. Por meio da diferença entre o volume excedente (o que sobra do dicromato) das amostras fumigadas e não fumigadas, foi calculado o carbono extraível proveniente das células lisadas. Os resultados finais foram expressos em $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo, de acordo com Brookes et al. (1985) e Voroney et al. (1993).

4.4.3.3. Análise do Nitrogênio da Biomassa Microbiana

Foi utilizado o mesmo método da fumigação-extração, de acordo com Vance et al. (1987) da análise do carbono da biomassa microbiana. Os extratos de solo obtidos, fumigados e não fumigados, foram submetidos à digestão sulfúrica e depois à destilação, titulando-se com H_2SO_4 a 0,005 M.

4.5. Avaliação da Cultura

O plantio foi realizado em 08/06/2007 e a emergência das plântulas ocorreu em 16/06/2007 e, para o segundo ano o plantio foi realizado em 11/06/2008 e a emergência das plântulas em 20/06/2008. A colheita do feijão foi realizada manualmente, totalizando um ciclo de 86 e 93 dias a partir da emergência das plântulas, respectivamente para o ano de 2007 e 2008. Foram avaliadas, em média, 30 plantas por m^2 ao centro de cada parcela (3 linhas), das quais foram retiradas aleatoriamente 3 plantas para determinar o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, massa total da parte aérea (g), massa de 1000 grãos (g) e índice de colheita (IC). O índice de colheita (IC) foi determinado por meio da relação entre a massa de grãos e a massa total da parte aérea de toda a planta.

4.6. Análises Estatísticas

Os dados foram analisados utilizando delineamento em blocos inteiramente casualizados com dois tratamentos e quatro replicações. Foi realizada análise de variância pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Para realização das análises, foi utilizado o programa computacional SAS (SAS Institute, 1999).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Atributos granulométricos e físicos do solo

Nos sistemas de manejo estudados não ocorreu diferença significativa para o teor de argila. Menores teores de argila foram observados nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, diferindo significativamente das demais profundidades estudadas (Tabela 3). O silte não apresentou diferença significativa nos sistemas de manejo e profundidades estudadas.

O sistema plantio direto apresentou um maior teor de areia nas profundidades estudadas, com diferença estatística nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m (Tabela 3). O solo da área de estudo apresenta caracterização granulométrica argilosa (EMBRAPA, 2006).

Tabela 3. Caracterização granulométrica e relação silte/argila para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades.

Sistema de Preparo	Profundidade (m)							
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	-----Argila (g kg ⁻¹)-----				-----Silte (g kg ⁻¹)-----			
SPD	537 Ab	536 Ab	546 Aa	567 Aa	194 Aa	191 Aa	189 Aa	183 Aa
PC	544 Ab	543 Ab	553 Ab	574 Aa	188 Aa	187 Aa	177 Aa	176 Aa
	-----Areia (g kg ⁻¹)-----				-----Relação silte/argila-----			
SPD	269 Aa	273 Aa	265 Ab	250 Ab	0,36 Aa	0,36 Aa	0,35 Aa	0,32 Aa
PC	258 Ba	260 Ba	263 Aa	245 Ab	0,34 Aa	0,34 Aa	0,32 Aa	0,31 Aa

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não são diferentes entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de matéria orgânica não apresentou diferença significativa entre os sistemas plantio direto e convencional, com os maiores teores nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, diferenciando das demais profundidades, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Concordando com os resultados obtidos por Assis e Lanças (2005), os quais verificaram que o sistema plantio direto com 1, 4 e 5 anos de implantação apresentaram valores de matéria orgânica semelhantes ao sistema de preparo convencional em um Nitossolo Vermelho

distroférico, somente o tratamento com 12 anos de plantio direto apresentou valores maiores, aproximando-se da mata nativa.

Os valores da densidade de partícula não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos para todas as profundidades estudadas, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Condizentes com os resultados de matéria orgânica, uma vez que o teor de matéria orgânica contribui para o abaixamento da densidade de partículas em decorrência do seu menor peso, ou seja, a variação dos teores de matéria orgânica não foi suficiente para promover modificações em seus resultados.

Tabela 4. Atributos físico-hídricos e teor de matéria orgânica para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, no ano de 2007.

Sistema de Preparo	Profundidade (m)							
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	-----Densidade do Solo (kg dm ⁻³)-----				-----Densidade de Partícula (kg dm ⁻³)-----			
SPD	1,34 Aa	1,26 Bb	1,27 Ab	1,28 Ab	2,63 Aa	2,66 Aa	2,68 Aa	2,67 Aa
PC	1,27 Ba	1,31 Aa	1,28 Aa	1,26 Aa	2,62 Aa	2,64 Aa	2,65 Aa	2,68 Aa
	-----Porosidade Total (m ³ m ⁻³)-----				-----Macroporosidade (m ³ m ⁻³)-----			
SPD	0,51 Ba	0,54 Aa	0,52 Aa	0,48 Aa	0,13 Bb	0,16 Aa	0,11 Ab	0,10 Ab
PC	0,57 Aa	0,45 Bb	0,49 Ab	0,49 Ab	0,18 Aa	0,07 Bb	0,09 Ab	0,08 Ab
	-----Microporosidade (m ³ m ⁻³)-----				-----Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)-----			
SPD	0,38 Aa	0,38 Aa	0,41 Aa	0,38 Aa	4,4 Aa	4,2 Aab	3,7 Abc	3,1 Ac
PC	0,39 Aa	0,38 Aa	0,40 Aa	0,41 Aa	4,3 Aa	4,1 Aab	3,7 Ab	2,8 Ac
	---Resistência do solo à penetração (MPa)---				-----Teor de água no solo (g g ⁻¹)-----			
SPD	5,12 Aa	3,88 Bb	4,12 Aa	3,78 Ab	0,27 Aa	0,27 Aa	0,23 Aa	0,24 Ab
PC	3,89 Bb	4,70 Aa	3,91 Ab	3,88 Ab	0,24 Aa	0,22 Aa	0,23 Aa	0,20 Aa
	-----Condutividade hidráulica (mm h ⁻¹)-----				-----Diâmetro médio ponderado (mm)-----			
SPD	100,7 Aa	108,5 Aa	100,4 Aa	96,8 Aa	2,58 Aa	2,49 Aa	2,07 Ab	1,94 Ab
PC	112,5 Aa	90,2 Bb	85,3 Bb	89,4 Bb	2,43 Aa	2,05 Ba	1,76 Ba	1,65 Bb

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não são diferentes entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que houve diferença significativa para a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade do solo nos sistemas plantio direto e convencional nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Na profundidade de 0,00-0,05 m o sistema plantio direto apresentou o maior valor de densidade do solo e menores valores de porosidade total e macroporosidade em relação ao sistema de preparo convencional, isto pode ser devido ao reduzido revolvimento do solo, à acomodação natural das partículas e ao tráfego de máquina para semeadura, resultados semelhantes foram verificados por Vieira e Muzilli (1984) e Tormena et al. (1998). Para a profundidade de 0,05-0,10 m o sistema plantio direto apresentou maiores valores para a porosidade total e macroporosidade, provavelmente devido a não ação do rodado na semeadura.

Tabela 5. Atributos físico-hídricos e teor de matéria orgânica para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, no ano de 2008.

Sistema de Preparo	Profundidade (m)							
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	-----Densidade do Solo (kg dm ⁻³)-----				-----Densidade de Partícula (kg dm ⁻³)-----			
SPD	1,32 Aa	1,25 Bb	1,28 Ab	1,29 Ab	2,64 Aa	2,65 Aa	2,67 Aa	2,66 Aa
PC	1,28 Ba	1,34 Aa	1,30 Aa	1,28 Aa	2,60 Aa	2,63 Aa	2,67 Aa	2,65 Aa
	-----Porosidade Total (m ³ m ⁻³)-----				-----Macroporosidade (m ³ m ⁻³)-----			
SPD	0,53 Ba	0,56 Aa	0,51 Aa	0,46 Ab	0,15 Ba	0,15 Aa	0,13 Aa	0,12 Aa
PC	0,59 Aa	0,44 Bb	0,47 Ab	0,48 Ab	0,19 Aa	0,08 Bb	0,09 Ab	0,07 Ab
	-----Microporosidade (m ³ m ⁻³)-----				-----Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)-----			
SPD	0,38 Aa	0,41 Aa	0,38 Aa	0,34 Ab	4,5 Aa	3,9 Ab	3,4 Ac	3,1 Ac
PC	0,40 Aa	0,36 Aa	0,38 Aa	0,41 Aa	4,1 Aa	3,9 Aab	3,6 Abc	3,1 Ac
	---Resistência do solo à penetração (MPa)---				-----Teor de água no solo (g g ⁻¹)-----			
SPD	5,62 Aa	3,28 Bb	4,10 Ab	4,18 Ab	0,26 Aa	0,28 Aa	0,21 Aa	0,22 Ab
PC	3,12 Bb	5,10 Aa	3,71 Ab	4,08 Ab	0,23 Aa	0,24 Aa	0,24 Aa	0,23 Aa
	-----Condutividade hidráulica (mm h ⁻¹)-----				-----Diâmetro médio ponderado (mm)-----			
SPD	107,5 Aa	114,9 Aa	109,2 Aa	99,1 Aa	2,78 Aa	2,59 Aa	2,27 Ab	1,90 Ab
PC	111,1 Aa	87,5 Ba	87,5 Ba	86,7 Ba	2,21 Ba	2,00 Ba	1,82 Ba	1,55 Bb

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não são diferentes entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O espaço poroso do solo nos tratamentos estudados é composto predominantemente por microporos (Tabelas 4 e 5). A proporção ideal da distribuição de poros por tamanho, segundo Kiehl (1979) é de 2:1 (micro/macroporo), garantindo suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água. Analisando os diferentes tratamentos e as profundidades, observa-se que a profundidade de 0,00-0,05 m nos sistemas avaliados e na profundidade de 0,05-0,10 m para o sistema plantio direto foi a que expressou melhor esta distribuição. A porosidade total no sistema plantio direto, nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, e no sistema de preparo convencional somente na profundidade de 0,00-0,05 m, esteve acima de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Camargo e Alleoni (1997), um solo ideal deve apresentar $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de volume de poros que, na capacidade de campo, teria $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pela água e $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pelo ar.

Em profundidade observa-se que para a densidade do solo o sistema plantio direto apresentou o maior valor na profundidade de 0,00-0,05 m diferindo das demais, já o sistema de preparo convencional não apresentou diferença em profundidade para a densidade do solo, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). A porosidade total apresentou diferença em profundidade no sistema de preparo convencional, com o maior valor na profundidade de 0,00-0,05 m; para a macroporosidade os dois sistemas de manejo apresentaram diferença em profundidade, com o menor valor no sistema plantio direto na profundidade de 0,00-0,05 m. Os maiores valores de matéria orgânica na profundidade de 0,00-0,05 m não foram suficientes para diminuir o valor de densidade do solo e aumentar a porosidade, concordando com os resultados obtidos por De Maria et al. (1999).

Os maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade total e macroporosidade nos primeiros anos de implantação do sistema plantio direto foram decorrentes do não revolvimento do solo e com o passar dos anos o efeito nocivo dessa compactação desaparece, à medida que o sistema plantio direto se estabelece adequadamente (Tabelas 4 e 5). Assis e Lanças (2005) avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, observaram que o tempo de adoção no sistema plantio direto não promoveu modificações na distribuição de poros por tamanho, somente no sistema plantio direto com 12 anos ocorreu um aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade na camada superficial em relação ao preparo convencional.

Não houve diferença significativa entre os sistemas plantio direto e preparo convencional nas profundidades estudadas para a microporosidade, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Segundo Silva e Kay (1997), a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada pelo tráfego de máquinas, implementos entre outros.

Nas Tabelas 4 e 5, são apresentados os valores do teor de água no solo determinada no momento da realização da resistência do solo à penetração, nos anos de 2007 e 2008. Os resultados da análise da variância aplicada aos teores de água no solo não mostraram diferença significativa para os tratamentos e profundidades. Em razão da pequena faixa de variação do teor de água no solo nas áreas por ocasião da determinação da resistência do solo à penetração e por estar dentro da faixa de friabilidade do solo (27-38 g g⁻¹), permitiu a realização de análises comparativas. Observa-se que os valores do teor de água no solo nas profundidades estudadas variaram entre 0,20 a 0,27 g g⁻¹. Segundo Torres e Saraiva (1999), a faixa de friabilidade é a indicada para detectar as possíveis diferenças na avaliação da resistência do solo à penetração.

Os valores médios encontrados para a resistência do solo à penetração estão compreendidos nas classes alta (2-4 MPa) e muito alta (4-8 MPa) nas profundidades em estudo de acordo com Soil Survey Staff (1993), nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Observa-se que o sistema plantio direto apresentou um maior valor para resistência do solo à penetração na profundidade de 0,00-0,05 m, concordando com os valores obtidos para a densidade do solo. Na profundidade de 0,05-0,10 m houve uma inversão, ou seja, o sistema plantio direto teve um menor valor para a resistência do solo à penetração em subsuperfície. O maior valor de resistência do solo à penetração neste tratamento pode ser atribuído à tendência geral de aumento do índice de cone (função da densidade e do teor de água) com o tempo, resultante da compactação causada pelo tráfego em subsuperfície (TORMENA e ROLOFF, 1996).

Em um estudo realizado na cultura da soja, considera-se para os Latossolos Vermelhos, valores de resistência em torno de 2,5 MPa (solo na consistência friável) como baixos para serem restritivos ao crescimento radicular. Resistência em torno de 3,5 a 6,5 MPa, são as mais corretas para considerar que um solo está com possíveis problemas de impedimento mecânico. As resistências em torno de 3,5 MPa devem ser consideradas como

um indicativo baixo de compactação e 6,5 MPa, como alto (TORRES e SARAIVA, 1999). Os resultados indicam que nas áreas com sistema plantio direto e sistema de preparo convencional, nas profundidades estudadas, apresentam valores superiores, indicando possíveis restrições à penetração de raízes, em períodos de déficit hídrico, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Souza e Alves (2003) utilizando-se da resistência do solo à penetração para estudar diferentes sistemas de manejo, observaram que o sistema plantio direto, apesar de apresentar maior resistência do solo à penetração, propiciou melhor estruturação e elevada taxa de infiltração de água.

Segundo Grant e Lafond (1993) valores compreendidos entre 1,5 e 3,0 MPa são considerados críticos e dificultam o desenvolvimento radicular das culturas. Dexter (1987) afirmou que a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco, sendo que em condições de maior conteúdo de água pode haver crescimento radicular em valores de resistência do solo à penetração superior a 4,0 MPa. Segundo Salire et al. (1994) e Hakansson e Voorhees (1997), sistemas com pouco revolvimento do solo e tráfego de máquinas podem promover compactação na subsuperfície. Valores superiores a 5,0 MPa são admitidos em plantio direto (EHLERS et al., 1983).

Em um Latossolo Vermelho, Silva et al. (2000a) avaliaram a resistência do solo à penetração sob o efeito de tráfego com 10 anos sob diferentes sistemas de manejo. Constataram que os maiores valores de resistência do solo à penetração foram encontrados no sistema plantio direto, que apresentou maior estado de compactação na camada de 7,5 a 17,0 cm. Assis e Lanças (2005), avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, observaram que o tempo de adoção no sistema plantio direto não promoveu alterações nos valores de resistência do solo à penetração. Somente no plantio direto com 12 anos ocorreu uma diminuição significativa deste atributo do solo.

A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou valores médios na classe moderadamente alta, para as profundidades estudadas (SOIL SURVEY STAFF, 1993), nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Na profundidade de 0,00-0,05 m o sistema plantio direto e o preparo convencional não apresentaram diferença, o sistema plantio direto resultou um valor médio inferior ao preparo convencional. Já na profundidade de 0,05-0,10m, houve uma diferença significativa nos sistemas, onde ressaltou-se que no preparo convencional, devido à mobilização do solo, predomina a descontinuidade dos poros, enquanto no plantio direto

apresenta uma continuidade dos poros, onde facilita a movimentação tridimensional da água, resultado semelhante foi obtido por Logsdon et al. (1990) e Khakural et al. (1992).

Os menores valores de condutividade hidráulica no preparo convencional em relação ao sistema plantio direto, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5), deve-se a desestruturação excessiva do solo, em decorrência da utilização da aração e gradagem, resultando assim em grande quantidade de partículas finas em suspensão, selando parcialmente os poros, dificultando assim a ocorrência de maiores taxas de infiltração. Arzeno (1990) e Souza e Alves (2003), em estudo com permeâmetro de Guelph, encontraram resultados superiores do sistema plantio direto em relação ao preparo convencional para a condutividade hidráulica do solo saturado. Este resultado deve-se a continuidade de poros, a tortuosidade dos interstícios e pela maior atividade biológica que facilita a movimentação tridimensional da água.

O sistema plantio direto diferiu estatisticamente do preparo convencional apresentando os maiores valores para o diâmetro médio ponderado (DMP) em todas as profundidades estudadas, com exceção da profundidade de 0,00-0,05, no ano de 2007 (Tabela 4). Em 2008, o sistema plantio direto apresentou os maiores valores para o DMP diferindo do preparo convencional em todas as profundidades estudadas (Tabela 5). De acordo com Campos et al. (1995), a maior estabilidade de agregados em sistemas conservacionistas deve-se, entre outros fatores, ao contínuo fornecimento de material orgânico, que serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente na estabilização dos agregados.

Na camada subsuperficial (0,05-0,10 m), o DMP foi superior no sistema plantio direto em 2007, no ano de 2008 foi superior com diferença significativa em relação ao preparo convencional (Tabelas 4 e 5), resultados semelhantes foram observados por Silva e Mielniczuk (1998). Harris et al. (1996) utilizaram a porcentagem de agregados estáveis (> 2,0 mm) em água para avaliar a qualidade do solo em sistemas de manejo, verificando que os valores foram superiores no sistema plantio direto em comparação ao solo arado.

No sistema plantio direto e no preparo convencional foram observadas diferenças significativas entre as profundidades estudadas com relação ao diâmetro médio ponderado (DMP), nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Esta redução do DMP em profundidade está provavelmente relacionada com o teor de matéria orgânica, pois este atributo do solo apresenta grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre esta e as partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por

microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (ANGERS, 1992).

Os resultados do diâmetro médio ponderado sugeriram que o preparo intensivo, que o solo foi submetido no cultivo convencional, contribuiu para a redução da estabilidade dos agregados, quando comparado com o sistema plantio direto, onde o solo foi pouco revolvido (HARRIS et al., 1996; SILVA et al., 2000b) (Tabelas 4 e 5). Silva et al. (2000b) avaliando sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho, observaram na camada subsuperficial os maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) no preparo convencional e verificaram que o sistema plantio direto propiciou agregados maiores e mais resistentes na camada superficial. Da Ros et al. (1997), em estudo comparativo entre sistemas de preparo após cinco anos de cultivo observaram que o DMG dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo.

No preparo convencional, o revolvimento do solo para o plantio aumenta o contato do ar com a matéria orgânica, acelerando a sua decomposição, refletindo em seu decréscimo ao longo dos anos e, conseqüentemente, diminuindo a estabilidade de agregados, nos anos de 2007 e 2008 (Tabelas 4 e 5). Segundo Silva et al. (2000b) devido o preparo do solo com arado de disco e grade aradora ao longo dos anos no preparo convencional do solo, ocorre uma compressão das partículas do solo, sem, entretanto, ocorrer os mecanismos que contribuem para a estabilização desses torrões, não apresentando as qualidades positivas de um agregado. Esse tipo de agregado, segundo Horn et al. (1990), possui menor grau de resistência interna, o que causa a deterioração da estrutura do solo, formando agregados grandes, porém, densos e fracos, com poucos poros interagregados e de menor diâmetro.

5.2. Análise micromorfológica do solo

A análise dos blocos polidos indicou baixos valores de porosidade total, na profundidade superficial 0,00-0,20 m, no sistema plantio direto e na profundidade de 0,20-0,40 m no plantio convencional (Figura 2). Observa-se a influência do manejo, ou seja, do tráfego intensivo de máquinas agrícolas no preparo convencional e no preparo do plantio no sistema plantio direto, modificando os valores de porosidade total. Moran e McBratney (1992) estudando a estrutura do solo por meio de métodos micromorfológicos, em áreas com manejo

convencional e sem manejo, observaram que a área que recebeu manejo apresentou valores de porosidade total menores em relação à área sem manejo.

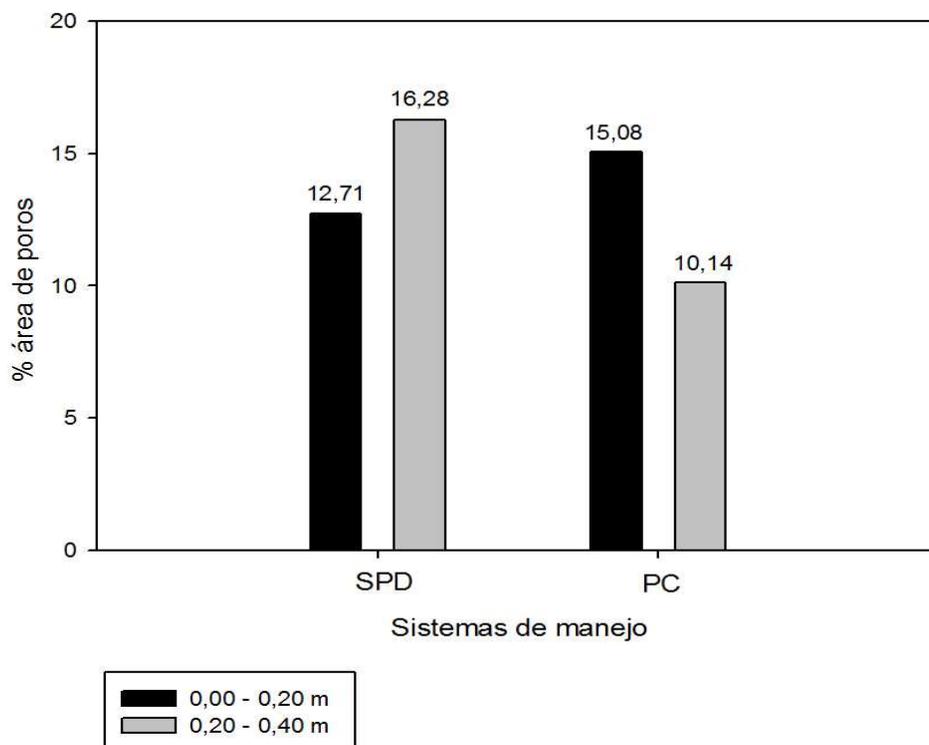


Figura 2. Porcentagem de área total média dos tratamentos estudados por meio da análise de imagem, nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.

A análise da porosidade média total nos blocos permitiu observar, em termos de área, uma predominância de poros classificados como arredondados no sistema de preparo convencional e complexo no sistema plantio direto (Figura 3). Porém, nota-se que na profundidade superficial do preparo convencional, um maior número de poros complexos, por serem poros intrínsecos deste tipo de solo e, por não haver tido influência pelo sistema de manejo. Os poros arredondados se distribuem principalmente nos tamanhos médios, com uma menor fração de poros pequenos e grandes e, nos poros alongados predominaram os de tamanho grande. A maior quantidade de poros arredondados no preparo convencional, é responsável por uma menor condução de água ao longo do perfil do solo em função de uma provável baixa conectividade entre estes poros. No sistema plantio direto, que apresentou maior porosidade total, também houve um maior número de poros complexos, que se

apresentam mais interconectados, conduzindo desta forma uma maior quantidade de água ao longo do perfil.

Nota-se por meio dos dados obtidos no campo dos atributos físicos em estudo na profundidade de 0,10-0,20 m, em relação à análise de imagem, um aumento da compactação em profundidade (Tabelas 4 e 5). O mesmo comportamento foi observado na análise da porcentagem da área de poros, ou seja, os altos valores médios da densidade, microporosidade e resistência do solo à penetração e os baixos de macroporosidade e condutividade hidráulica foram verificados na profundidade superficial do sistema plantio direto e subsuperficial do plantio convencional. Concordando com os resultados obtidos por meio da análise de imagem, com os quais observou-se uma menor porcentagem de área de poros no horizonte superficial no sistema plantio direto e subsuperficial do plantio convencional (Figura 2). Resultados semelhantes foram observados por Souza et al. (2006), os quais estudando a micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos, observaram que a análise de imagem confirma os resultados obtidos por meio de atributos físicos e hídricos do solo em área cultivada com cana de açúcar.

Para o sistema plantio direto, a profundidade superficial apresentou o menor valor de porcentagem de área de poros, pois indicou maior compactação nessa profundidade, devido ao não revolvimento do solo nessa camada. No plantio convencional, apresentou menor porcentagem de área de poros na profundidade subsuperficial e maior na camada superficial (Figuras 2 e 3). De acordo com Pagliai et al. (1983), a porcentagem de área total foi significativamente maior nas amostras das parcelas sob plantio convencional do que nas parcelas de plantio direto, independente do ano de amostragem. Lima et al. (2005), estudando diferenças entre sistemas de manejo por meio de análise micromorfológica, verificaram que a área sob cultivo apresentou menor porosidade total tiveram os maiores valores de densidade do solo. Isso mostra que a determinação da porosidade total feita por meio de análises micromorfológicas é uma ferramenta confiável para avaliação da estrutura do solo. Conforme Imhoff et al. (2001) a densidade do solo é um dos atributos físicos mais utilizados como indicadores de qualidade estrutural do solo.

A maior presença de poros complexos no sistema plantio direto promoveu uma maior condutividade hidráulica neste sistema de manejo (Figura 3). Concordando com os resultados obtidos por Souza et al. (2006), os quais estudando a micromorfologia do solo e sua relação

com atributos físicos e hídricos verificaram menor condutividade hidráulica na profundidade superficial do solo. Maior movimento de água ao longo do perfil por meio dos poros alongados e complexos também foram observados por Fox et al. (2004).

O sistema plantio direto está promovendo uma maior formação de poros complexos e bioporos proporcionando uma maior condutividade hidráulica do solo (Figura 3). Segundo Williams e Weil (2004) a rotação de culturas é um dos fundamentos para a qualidade e sustentabilidade da produção em solos sob plantio direto. Do ponto de vista físico, essa técnica de manejo de solo condiciona a melhoria da sua estrutura e possibilita a formação de bioporos com ampla variação de tamanho, que funcionam como rotas alternativas para o crescimento das raízes. Os bioporos são altamente funcionais e reduzem a resistência do solo à penetração das raízes, principalmente quando encontrados no sistema plantio direto.

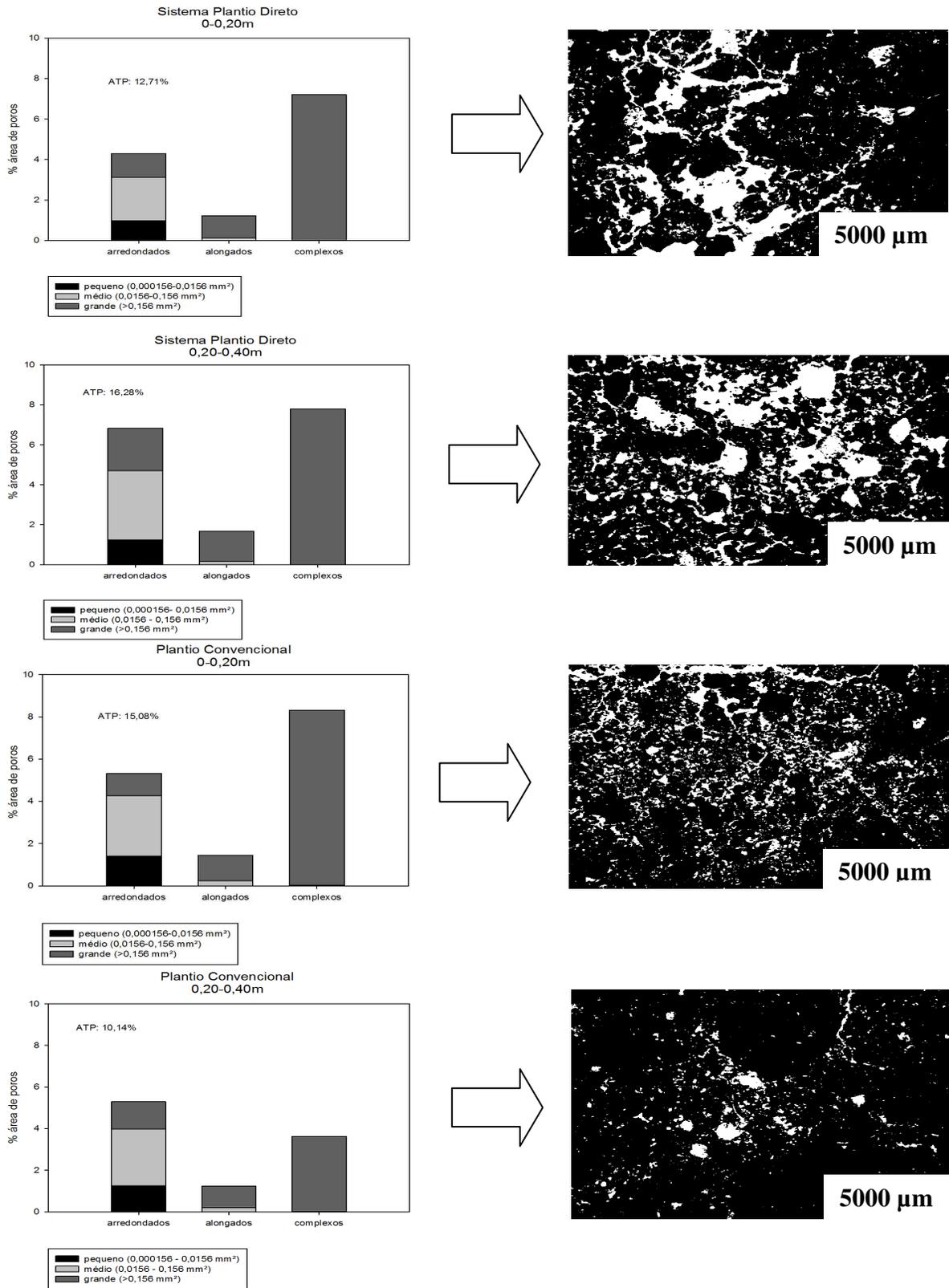


Figura 3. Distribuição da área total de poros (ATP) de acordo com a forma e o tamanho dos poros, e imagens binárias correspondentes (os poros aparecem em branco e a fase sólida em

preto) sob o preparo convencional e o sistema plantio direto, nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.

5.3. Atributos microbiológicos do solo

Quanto aos atributos para avaliação da atividade microbiológica do solo, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para carbono da biomassa, nos dois anos estudados (Tabela 6). Para ambos os tratamentos, os teores de carbono na biomassa nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m são maiores e se diferenciam daqueles determinados para as profundidades seguintes 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. De acordo com Stenberg (1999), maior quantidade de carbono da biomassa microbiana reflete a presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes.

No manejo sob plantio direto, a deposição de resíduos orgânicos e a maior quantidade de água retida no solo estimularam a manutenção da microbiota do solo (Tabela 6). Ao contrário, solos manejados sob preparo convencional geralmente apresentam condições adversas que, normalmente, fazem a população microbiana decrescer (TÓTOLA e CHAER, 2002). Segundo Carvalho (2005), não se pode esperar que um ecossistema que tenha sofrido algum tipo de interferência antrópica apresente o mesmo desempenho de um ecossistema natural, na decomposição dos resíduos vegetais, na reciclagem de nutrientes, na conservação da água e no fluxo de gases.

Os valores de C_{mic}/C_{org} do solo sob sistema plantio direto foram superiores ao preparo convencional, com diferença significativa entre os sistemas de manejo somente para a profundidade de 0,05-0,10 m, no ano de 2007 (Tabela 6). Em 2008, o sistema plantio direto apresentou maiores valores de C_{mic}/C_{org} em relação ao preparo convencional, com diferença significativa para as profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m. O impacto de práticas agrícolas sobre os atributos biológicos do solo apresenta forte relação com a produção e decomposição dos restos culturais. A manutenção dos restos culturais no solo, com ou sem incorporação e, as práticas de conservação do solo, enriquecem-no com matéria orgânica e reduzem os impactos negativos que possam advir do manejo intensivo e sucessivo das áreas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). As mudanças na razão C_{mic}/C_{org} refletem o padrão do aporte de matéria orgânica do solo, a eficiência da conversão do carbono microbiano, as

perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pela fração mineral do solo. Essas razões indicam se o conteúdo de carbono está se mantendo estável ou variando de acordo com as condições impostas ao sistema (SPARLING, 1992).

Tabela 6. Atributos microbiológicos do solo no sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC) em diferentes profundidades, nos anos de 2007 e 2008.

Sistema de Preparo	Profundidade (m)							
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Ano de 2007								
	-----Carbono da biomassa (ug C g ⁻¹)-----				-----Nitrogênio da biomassa (ug N g ⁻¹)-----			
SPD	310,6 Aa	267,7 Aa	182,8 Ab	189,1 Ab	67,2 Aa	48,9 Ab	25,5 Ac	22,7 Ac
PC	275,2 Aa	223,8 Aa	160,4 Ab	135,9 Ab	53,4 Ba	34,9 Bb	25,3 Ab	15,3 Ac
	-----Respiração basal (ug CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹)-----				-----Quociente metabólico-----			
SPD	54,9 Ba	42,7 Ba	29,1 Ab	24,9 Ab	0,18 Ba	0,16 Ba	0,16 Aa	0,13 Aa
PC	70,7 Aa	64,3 Ab	30,8 Ac	24,4 Ac	0,27 Aa	0,29 Aa	0,19 Ab	0,18 Ab
	-----Cmic/Corg (%)-----				-----Nitrogênio total (g kg ⁻¹)-----			
SPD	1,6 Ab	2,2 Aa	1,5 Ab	1,4 Ab	1,86 Aa	1,79 Aab	1,57 Abc	1,26 Ac
PC	1,1 Aa	1,1 Ba	0,8 Aa	0,8 Aa	1,63 Aa	1,61 Aa	1,53 Aa	1,21 Ab
Ano de 2008								
	-----Carbono da biomassa (ug C g ⁻¹)-----				-----Nitrogênio da biomassa (ug N g ⁻¹)-----			
SPD	326,3 Aa	265,7 Ab	221,4 Ab	176,1 Ab	65,3 Aa	44,0 Ab	32,9 Ab	25,3 Ac
PC	291,9 Aa	201,5 Ab	171,9 Ab	136,5 Ab	50,5 Ba	33,0 Bb	31,8 Ab	21,9 Ac
	-----Respiração basal (ug CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹)-----				-----Quociente metabólico-----			
SPD	50,5 Ba	36,8 Bb	32,3 Ab	28,3 Ab	0,15 Ba	0,14 Ba	0,15 Ba	0,16 Ba
PC	66,8 Aa	53,3 Aa	39,1 Ab	31,1 Ab	0,23 Aa	0,26 Aa	0,23 Aa	0,23 Aa
	-----Cmic/Corg (%)-----				-----Nitrogênio total (g kg ⁻¹)-----			
SPD	1,8 Ab	2,5 Aa	1,6 Ab	1,3 Ab	1,79 Aa	1,63 Ab	1,54 Ab	1,22 Ac
PC	1,2 Ba	1,0 Ba	0,7 Aa	0,9 Aa	1,53 Aa	1,48 Aab	1,50 Ab	1,23 Ac

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não são diferentes entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de nitrogênio na biomassa microbiana foram superiores no solo sob plantio direto nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, para as duas safras (Tabela 6).

Segundo Patra et al. (1990), a falta de uniformidade no manejo do solo (preparo convencional) durante vários anos pode acarretar flutuações na biomassa microbiana do solo, influenciada pela temperatura do solo e adição de resíduos vegetais. Isso evidencia que em áreas não perturbadas, com manutenção de resíduos vegetais na superfície (plantio direto), há maior concentração de nitrogênio microbiano (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ e LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2002).

Os valores de nitrogênio da biomassa microbiana diminuíram com a profundidade (Tabela 6). Isso evidencia que nas profundidades superficiais pode ocorrer maior aporte de nitrogênio proveniente dos exsudatos de raízes e de resíduos vegetais na superfície do solo, que são imobilizados pela microbiota do solo. A biomassa microbiana é um componente importante do nitrogênio potencialmente mineralizável. Portanto, quanto maior o conteúdo de nitrogênio na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (ANDERSON, 2003). Como o nitrogênio é frequentemente o nutriente mais limitante para as plantas, juntamente com o fósforo, qualquer diferença nas taxas de mineralização, de imobilização e de nitrificação pode ter profundo efeito sobre a produtividade e sobre a qualidade do solo.

Com relação à respiração basal, os tratamentos se diferenciam até a profundidade de 0,10 m, sendo maiores no solo sob preparo convencional para as duas safras (Tabela 6). Isto é um indicativo de que o preparo convencional está produzindo uma maior quantidade de CO₂ resultante da atividade metabólica, promovendo uma maior decomposição dos resíduos. A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, pois uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996).

O quociente metabólico nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m para a safra 2006/07 foi superior no sistema convencional, para a safra 2007/08, o quociente metabólico no solo sob preparo convencional foi superior ao do solo sob plantio direto em todas as profundidades (Tabela 6). De acordo com Bardgett e Saggar (1994), valores elevados de quociente metabólico são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio, que é o caso das parcelas submetidas ao preparo convencional do solo. Este tipo de manejo promove rompimento dos macros e microagregados e, conseqüentemente, torna a matéria orgânica mais suscetível ao ataque microbiano, o que aumenta a taxa de

mineralização e a liberação de CO₂ para a atmosfera (SIX et al., 2000). Segundo Tótola e Chaer (2002), o quociente microbiano vem sendo mencionado como um importante indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, sendo que variações nesse atributo podem refletir variações de matéria orgânica no sistema, a eficiência de conversão do C orgânico em C microbiano, perdas de C do solo e estabilização do C orgânico pelas frações minerais do solo. Conforme Franchini et al. (2007), foi observado em ensaios de longa duração realizados no Paraná, que o menor quociente metabólico encontrado no solo sob plantio direto contribuiu fortemente para maior acúmulo de carbono no solo com o tempo.

Não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos para o nitrogênio total nas diferentes profundidades estudadas, porém, em um mesmo tratamento a distribuição do nitrogênio total no perfil de solo foi decrescente com a profundidade para as duas safras (Tabela 6). Esperava-se que no sistema plantio direto, com o revolvimento somente na linha de plantio ocorresse um incremento do nitrogênio total do solo em comparação com o preparo convencional, conforme o que relataram Hernández-Hernández e López-Hernández (2002), que observaram maior valor de nitrogênio total em solo sob plantio direto, comparado com preparo convencional.

5.4. Indicadores biométricos da cultura do feijão

O estande inicial de plantas não foi influenciado significativamente pelos sistemas de preparo do solo, nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 7). Isso evidencia que a semeadora utilizada foi eficiente na colocação das sementes em contato com o solo, atestando a sua versatilidade e mostrando que sob o ponto de vista do estabelecimento da cultura do feijão não há necessidade de um grande número de operações de preparo secundário que causam compactação e desagregação do solo mobilizado pelas operações de preparo primário. Resultados semelhantes foram observados por Boller e Caldato (2001), ao avaliarem o desenvolvimento da cultura do feijão em três sistemas de preparo (arado de discos + grade leve, escarificador e semeadura direta).

Tabela 7. Dados dos indicadores biométricos da cultura do feijão para o sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC), nos anos de 2007 e 2008.

Atributos da cultura de feijão	Sistema de preparo do solo	
	Preparo Convencional	Plantio direto
Ano de 2007		
Estande inicial de plantas de feijão (plantas/m ²)	28,33 a	31,72 a
Número de vagens por planta de feijão	7,22 b	13,18 a
Número de grão por vagem	4,84 a	4,95 a
Peso de mil grãos de feijão (g)	165,13 b	225,12 a
Peso da parte aérea total (g)	21 a	23 a
Índice de colheita (%)	54,38 b	67,18 a
Ano de 2008		
Estande inicial de plantas de feijão (plantas/m ²)	22,46 a	27,02 a
Número de vagens por planta de feijão	5,41 b	14,29 a
Número de grão por vagem	4,48 a	4,99 a
Peso de mil grãos de feijão (g)	145,13 b	205,12 a
Peso da parte aérea total (g)	23 a	20 a
Índice de colheita (%)	50,12 b	70,22 a

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha, não são diferentes entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de grãos por vagem não apresentou diferença significativa entre os sistemas de preparo, nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 7). Evidenciando que as diferentes condições induzidas na superfície do solo pela condição de cobertura e pelo sistema de preparo não influenciaram o comportamento da cultura. Os resultados obtidos para os sistemas de preparo em estudo foram inferiores ao encontrados por Andrade et al. (2002) e Cardoso e Zanini (2003) que apresentaram valores em torno de 5,9.

Com relação ao número de vagens por planta, observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos estudados, nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 7). O sistema plantio direto apresentou maior número de vagens por planta em relação ao preparo convencional. Os valores obtidos no sistema plantio direto foram semelhantes ao encontrado por Boller e Caldato (2001) e Andrade et al. (2002). Para Stone e Moreira (2000) a

componente de produção do feijão mais influenciada pelo sistema de preparo do solo é o número de vagens por planta.

Para o peso de mil grãos de feijão, observa-se que o sistema plantio direto apresentou um maior valor com diferença estatística quando comparado com o preparo convencional, nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 7). Santos et al. (2001) estudando o comportamento de cultivares de feijoeiro-comum em sistema convencional e plantio direto com diferentes palhadas, observaram maior peso de mil grãos de feijão no sistema plantio direto. O sistema plantio direto e preparo convencional não apresentaram diferença significativa para o peso da parte aérea total.

O sistema plantio direto apresentou um maior índice de colheita quando comparado com o preparo convencional, com diferença significativa, nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 7). O valor de índice de colheita é superior ao encontrados por Antonini et al. (2000) que encontraram o valor de 25% e também aos obtidos por Calvache et al. (1997) com valores variando de 47 a 59%. Santos et al. (2001) estudando o comportamento de cultivares de feijoeiro-comum em sistema convencional e plantio direto com diferentes palhadas, verificaram na maioria das situações, em sistema plantio direto, as cultivares de feijoeiro apresentaram rendimentos superiores ou equivalentes aos do preparo convencional.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos deste trabalho, podemos salientar que:

O sistema plantio direto representou maiores valores de densidade do solo; e menores de porosidade do solo e macroporosidade na profundidade de 0,00-0,05 m para o solo em estudo.

A condutividade hidráulica apresentou maior valor na profundidade de 0,05-0,10m para o sistema plantio direto.

A análise de imagem mostrou que o sistema plantio direto apresentou maior porcentagem de área total média de poros e maior número de poros complexos.

O sistema plantio direto apresentou valores superiores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e inferiores para o quociente metabólico microbiano indicando maior qualidade biológica.

Os indicadores biométricos da cultura foram superiores para o sistema plantio direto.

As análises microbiológicas, micromorfológicas do solo e biométrica da cultura indicaram que o sistema plantio direto tem melhor qualidade estrutural quando comparado com o preparo convencional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K. Soil respiration. In: **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (eds.). Academic Press, p.214-218, 1995.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1977, 448p.
- ALLISON, M.F.; KILLHAM, K. Response of soil microbial biomass to straw incorporation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.39, p.237-242, 1988.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.33, p.17-28, 1995.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.679-686, 1999.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.21, p.471-479, 1982.
- ANDERSON, J.D.; DOMSCH, K.H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.21, p.471-479, 1989.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, p.393-395, 1993.
- ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.98, p.285-293, 2003.
- ANDRADE, R.S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J.A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, p.35-38, 2002.

ANGERS, D.A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1244-1249, 1992.

ANTONINI, A.C.D.; SAMPAIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, p.29-34, 2000.

ASLAM, T.; CHOUDHARY, M.A.; SAGGAR, S. Tillage impacts on soil microbial biomass C, N and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.51, p.103-111, 1999.

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

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

BALOTA, E.L. **Alterações microbiológicas em solos cultivados sob plantio direto**. In: PEIXOTO, R.T. dos G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. (Ed.). **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: Iapar, PRP/PG, 1997. p.53-65.

BARDGETT, R.D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled [^{14}C] glucose in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.26, p.727-733, 1994.

BATRA, L.; MANNA, M.C. Dehydrogenase activity and microbial biomass carbon in salt-affected soils of semiarid and arid regions. **Arid Soil and Rehabilitation**, v.11, p.295-303, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.235-239, 1997.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21,p.409-418, 1997.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F., DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.91-95, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.555-560, 2001.

BOLLER, W.; CALDATO, D.E. Desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes condições de cobertura e de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, p.167-173, 2001.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.369-374, 1990.

BRANDÃO, E.M. **Os componentes da comunidade microbiana do solo**. In CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; Neves, M.C.P. (Eds.), Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p.1-15.

BRANDÃO JÚNIOR, O. **Atividade e diversidade da biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas no Norte do Estado do Paraná**. 2005. 113p. Tese (doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, 2005.

BRAUNACK, M.V.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I – Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.14, p.259-279, 1989.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.17, p.837-842, 1985.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Woverhampton: Waine Research Publishers, 1985. 152 p.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.27, p.275-286, 2003.

CALDERÓN, F.J.; JACKSON, L.E.; SCOW, K.M.; ROLSTON, D.E. Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipid fatty acids after tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Amsterdam, v.65, p.118-126, 2001.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E. BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, p.1-15, 1997.

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, p.94, 1986.

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

CAMPOS, B.C; REINERT, D.J; NICOLODI, R; RUEDELL, J; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CARDOSO, S.S.; ZANINI, J.R. Parcelamento do nitrogênio aplicado por fertirrigação via pivô central em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, p.441-449, 2003.

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

CARTER, M.R. Microbial biomass as index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.7, p.29-40, 1986.

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo.** 2005. 79p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CASTRO FILHO, C; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H.V. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, v.3, p.107-164.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999. 130p. (Tese de Doutorado).

COOPER, M.; TORRADO, P.V. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B Nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.581-595, 2005.

COOTE, D.R.; RAMSEY, J.F. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.63, p.1-14, 1983.

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

COSTER M.; CHERMANT J.L. **Précis d'analyse d'images**. Paris: Presse du CNRS, 560p. 1989.

CURMI, P.; KERTZMAN, F.F.; QUEIROZ NETO, J.P., 1994. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: A.J. Ringrose-Voase and G.S. Humphreys (Editors), **Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis**. Proc. IX Int. Working Meeting on Soil Micromorphology, Townsville, Australia, July 1992. *Developments in Soil Science* 22, Elsevier, Amsterdam, pp. 569-579.

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

DE MARIA, I., CASTRO, O.M., DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.703-709, 1999.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M.S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p.17-28.

DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.98, p.303-312, 1987.

DIAS JÚNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p.55-95, 2000.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STAWART, B.A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special Publication, 35)

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.3, p.261-275, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2006. 306p.

FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.C.C.; THIMOTEO, C.M.S. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, Jaboticabal, v.23, p.117-132, 1995.

FOX, D.M.; BRYAN, R.B.; FOX, C.A. Changes in pore characteristics with depth for structural crusts. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p.109-120, 2004.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.92, p.18-29, 2007.

GARCIA, M.R.; MELLO, L.M.M.; CASSIOLATO, A.M.R. Variáveis microbiológicas e produtividade do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1021-1026, 2004.

GODEFROY, J.; JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales;comparasion avec les sols forestiers. **Fruits**, Paris, v.30, p.595-612, 1975.

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

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A.; KARIMZADEH, H.R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.190, p.301-308, 1997.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C. (Eds). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: Lewis, p.167-179, 1997.

HALLAIRE, V.; COINTEPAS, J.P. Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image. **Agronomie**, Paris, v.13, p.155-164, 1993.

HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L.; MULLA, D.J. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.61-82. (SSSA Special Publication, 49).

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.145-154, 1999.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, p.1563-1570, 2002.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.17, p.265-289, 1990.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v.79, p.9-19, 2000.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.170, p.287-295, 1995.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.4-10, 1997.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society Agronomy, 1965. p.499-510.

KHAKURAL, B.R.; LEMME, G.D.; SCHUMACHER, T.E.; LINDSTROM, M.J. Effects of tillage and landscape on soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.25, p.43-52, 1992.

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

LAL, R. **Soil erosion by wind and water: problems and prospects**. In: LAL, R. (Ed.). **Soil Erosion Research Methods**. 2^aEd. Florida: St.Lucie Press, Soil and Water Conservation Society, 1994. p.1-9.

LEIRÓS, M.C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.32, p.733-745, 2000.

LIMA, H.V.; LIMA, C.L.R.; LEÃO, T.P.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.677-684, 2005.

LIU, X.L.; HE, Y.Q.; ZHANG, H.L.; SCHRODER, J.K.; LI, C.L.; ZHOU, J.; ZHANG, Z.Y. Impact of Land Use and Soil Fertility on Distributions of Soil Aggregate Fractions and Some Nutrients. **Pedosphere**, Nanjing, v.20, p.666-673, 2010.

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, v.54, p.1096-1101, 1990.

MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.103, p.442-450, 2009.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.163-170, 2006.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, p.83-93, 1996.

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

MIEDEMA, R. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, New York, v.59, p.119-169, 1997.

MORAN, C.J.; McBRATNEY, A.B. Acquisition and analysis of three-component digital images of pore structure, II. Application to seed beds in a fallow management trial. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.43, p.551-566, 1992.

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

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.28, p.498-508, 1977a.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; BISWELL, K.J. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part II. Applications. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.28, p.509-518, 1977b.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted, A.B. Academic Publishers, 1986. 149p.

MURAGE, E.W.; KARANJA, N.K.; SMITHSON, P.C.; WOOMER, P.L. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders field of Kenya's Central Highlands. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v.79, p.1-8, 2000.

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

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. **Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadrícula de Campinas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 169 p. (Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, 5).

OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F. **Latossolos Roxos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1984, 82 p. (Boletim Técnico, 82).

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**, Oxford, v.34, p.391-483, 1983.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCOPI-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PATRA, D.D.; BROOKES, P.C.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, p.739-742, 1990.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1989. 340p.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.521-529, 2001.

PEREIRA, A.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; KASCHUK, G.; CHEIRE, L.M.O.; CAMPO, R.J.; TORRES, E. variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1397-1412, 2007.

PIRES, L.F.; REICHARDT, K.; COOPER, M.; CÁSSARO, F.A.M.; DIAS, N.M.P.; BACCHI, O.O.S. Pore system changes of damaged Brazilian oxisols and nitosols induced by wet-dry cycles as seen in 2-D micromorphologic image analysis. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Rio de Janeiro, v.81, p.151-161, 2009.

PIZAURO JÚNIOR, J.M.; MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.95-103, 1995.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.1011-1017, 2009.

PROTZ, R.; SHIPITALO, M.J.; MERMUT, A.R. Image analysis of soil – present and future. **Geoderma**, Amsterdam, v.40, p.115-125, 1987.

RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M.; BROUGHTON, R.S. Prediction of soil compaction due to off-road vehicle traffic. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.19, p.610-613, 1976.

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

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, Baltimore, v.140, p.292-302, 1985.

RINGROSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.35, p.673-684, 1984.

RINGROSE-VOASE A.J. Measurement of soil macropore geometry by analysis of sections through impregnated soil. **Plant and Soil**, Canberra, v.183, p.27-47, 1996.

SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. Longterm effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.152-159, 1997.

SALIRE, E.V.; HAMMEN, J.E.; HARDCASTLE, J.H. Compression of intact subsoils under short-duration loading. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.31, p.235-248, 1994.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIN A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.91-99, 1999.

SANTOS, R.L.L.; CORRÊA, J.B.D.; ANDRADE, M.J.B.; MORAIS, A.R. Comportamento de cultivares de feijoeiro-comum em sistema convencional e plantio direto com diferentes palhadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, p.978-989, 2001.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT. **User's guide, version 8**. Cary: NC, 1999. p.25-50.

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

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

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, v.8, p.265-268, 1984.

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

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.311-317, 1998.

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

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

SILVA, R.B., DIAS JUNIOR, M. S., SILVA, F.A.M. e FOLE, S. M. O Tráfego de Máquinas Agrícolas e as Propriedades Físicas, Hídricas e Mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 973-983, 2003.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.391-399, 2006.

SIQUEIRA, J.D.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: Nagy Ltda., 1988. 235p.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.681-689, 2000.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.30, p.195-207, 1992.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; FOLONI, L.L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.35, p.1005-1014, 2005a.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; CASTRO, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.353-359, 2005b.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993, 437p. (Handbook, 18)

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection**: a soil physical approach. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p.71-82. (Advances in GeoEcology, 35)

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, p.18-23, 2003.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; PEREIRA, G.T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.487-492, 2006.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, New York, v.49, p.1-24, 1999.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1985. p.167-78.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.835-841, 2000.

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

TATE, R.L. **Humic and fulvic acids: formation and decomposition**. In: TATE, R.L. (ed.). *Soil organic matter: biological and ecological effects*. New York: John Wiley & Sons, 1987. p.147-164.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.725-730, 2001.

TAYLOR, H.M; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Madison, v.102, p.18-22, 1966.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

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

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Microbial biomass measurements in forest soils: The use chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, p.697-702, 1987.

VANDENBYGAART, A.J.; PROTZ, R.; TOMLIN, A.D.; MILLER, J.J. Tillage system effects on near-surface soil morphology: Observations from the landscape to microscale in silt loam soils of southwestern Ontario. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.51, p.139-149, 1999.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.411-417, 1998.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um solo Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.35-42, 2000.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.749-755, 2004.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.76-83, 2005.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.11-19, 2004.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um latossolo vermelho- escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.873-882, 1984.

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v.47-50, p.32-33, 1995-1998.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1271-1280, 2007.

VORONEY, R.P.; WINTER, J.P.; BEYAERT, R.P. Soil biomass C and N. In: CARTER, M.R. **Soil Sampling and Methods of Analysis**. Lewis Pub. CRC Press, Boca Raton, Florida, p.277-286, 1993.

WILLIAMS, S.M.; WEIL, R.R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.1403-1409, 2004.