

**“UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO E O
EFEITO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E NA
PRODUTIVIDADE DO MILHO, IRRIGADO POR ASPERSÃO**

**MONICA MARTINS DA SILVA
ENGENHEIRA AGRÔNOMA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

**BOTUCATU-SP
Dezembro - 2003**

“UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO E O
EFEITO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E NA
PRODUTIVIDADE DO MILHO, IRRIGADO POR ASPERSÃO**

MONICA MARTINS DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa
Co -Orientador: Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
- Área de Concentração em Irrigação e
Drenagem.

BOTUCATU-SP
Dezembro - 2003

CATALOGAÇÃO NA FONTE: SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
UNESP - FCA - BOTUCATU (SP)

S586m Silva, Monica Martins da, 1977-
Manejo de um latossolo vermelho de cerrado e o efeito nas propriedades físico-hídricas do solo e na produtividade do milho, irrigado por aspersão / Monica Martins da Silva. -- Botucatu, [s.n.], 2003
v, 88 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas
Orientador: Antônio de Pádua Sousa
Co-orientador: Marlene Cristina Alves
Inclui bibliografia

1. Solos - Manejo. 2. Física do solo. 3. Milho - Rendimento. I. Sousa, Antônio de Pádua. II. Alves, Marlene Cristina. III. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Palavras-chave: Propriedades físico-hídricas; Semeadura direta; Semeadura convencional; Planta de cobertura do Solo; Produtividade do milho.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO E O EFEITO
NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E NA PRODUTI-
VIDADE DO MILHO, IRRIGADO POR ASPERSÃO"

ALUNO: MONICA MARTINS DA SILVA

ORIENTADORA: PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

Data da Realização: 22 de janeiro de 2004

A DEUS,

por sempre me dar além daquilo que tenha pedido,

mesmo sem merecer, pois ele é Pai,

OFEREÇO

Aos meus pais, Teresinha e José
que mais uma vez não mediram esforços
para que eu completasse mais uma etapa da vida,
À minha sobrinha Gabriella, pela alegria,
À minha tia Edna, pelo incentivo,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, digno de glória e honra, Pai sempre presente, Consolador e Fortalecedor; Amigo incondicional e fonte de toda sabedoria, a quem devo tudo o que sou,

Aos meus pais, que sempre me deram total apoio e que sempre me consolaram nas horas de angústia e incertezas,

Ao Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela orientação, confiança e amizade doada durante o curso,

A Prof^a Dr^a Marlene Cristina Alves, pela co-orientação e dicas preciosas para a realização deste trabalho e pela amizade a mim presenteada, acima de tudo,

A Capes pela concessão da bolsa de estudos,

À Faculdade Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP, bem como a seus docentes, pela possibilidade de realização do curso de mestrado,

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, nas pessoas do Sr Valdivino dos Santos e Ricardo Rosa Alves, técnicos do Laboratório de Física do Solo e ao estagiário e futuro geógrafo, Hernandez Andrade Queiroz, pelo auxílio no laboratório e nas coletas de campo, possibilitando a realização desta pesquisa e, além de tudo, o agradável clima de amizade,

Ao meu namorado Gustavo Henrique Pires, pelo amor e apoio em todos os momentos,

A todos os colegas da pós-graduação, em especial à Rosemeire Helena da Silva, grande amiga e companheira,

Enfim, a todos que fizeram parte de mais uma etapa de minha vida, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	08
4.1 Impacto do manejo nas propriedades físico-hídricas do solo.....	08
4.2 Movimento da água no perfil do solo.....	11
4.3 Influência das plantas de cobertura nas propriedades físicas do solo e na produtividade das culturas.....	14
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Localização e Caracterização da Área Experimental.....	18
5.2 Histórico da Área Experimental.....	20
5.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	20
5.4 Condução do experimento.....	21
5.5 Avaliações.....	25
5.5.1 Análise das propriedades físico-hídricas do solo.....	25
5.5.1.1 Densidade do Solo.....	25
5.5.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.....	25
5.5.1.3 Resistência à penetração.....	25
5.5.1.4 Infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado.....	25
5.5.1.5 Textura do solo.....	26
5.5.1.6 Retenção de água.....	26
5.5.1.7 Monitoramento da umidade e armazenamento de água no solo.....	27
5.5.2 Plantas de cobertura.....	28
5.5.3 Cultura do milho.....	28
5.5.3.1 Rendimento de grãos.....	28
5.5.3.2 Altura média de plantas.....	28
5.5.3.3 Número médio de plantas.....	29
5.5.3.4 Massa média de 100 grãos.....	29

SUMÁRIO

	Página
5.5.3.5 Análise foliar de macronutrientes.....	29
5.5.4 Análise estatística.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6.1 Propriedades físico-hídricas do solo.....	30
6.1.1 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....	30
6.1.2 Densidade do solo.....	36
6.1.3 Resistência à penetração e umidade do solo.....	38
6.1.4 Infiltração de água no solo.....	41
6.1.5 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	44
6.1.6 Retenção de água.....	46
6.1.7 Monitoramento da umidade e armazenamento de água no solo.....	53
6.2 Plantas de cobertura.....	60
6.2.1 Matéria seca e matéria verde.....	60
6.3 Cultura do milho.....	63
6.3.1 Rendimento de grãos.....	63
6.3.2 Matéria seca, massa de 100 grãos, número de plantas e altura de plantas de milho.....	64
6.3.3 Macronutrientes nas folhas de milho.....	66
7 CONCLUSÕES.....	69
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICE.....	86

1 RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo verificar a influência do manejo do solo em suas propriedades físico-hídricas, na distribuição de água no perfil e na produtividade do milho em um LATOSSOLO VERMELHO de cerrado, irrigado por aspersão com autopropelido. Foi conduzida na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, localizada no Município de Selvíria-MS. A pesquisa teve início no ano agrícola de 1997/1998 com as culturas do milho (*Zea mays* L.) no verão e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no inverno. As culturas de verão e de inverno foram irrigadas por aspersão utilizando-se um autopropelido com uma pressão de serviço de 425 kPa, diâmetro do bocal de 16 mm, com vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, cujo raio de alcance máximo era de 30 m. Foram avaliadas as seguintes propriedades físico-hídricas do solo: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, textura, resistência à penetração, infiltração de água no solo, condutividade hidráulica do solo saturado e retenção de água, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Além disso, realizou-se o monitoramento do teor de água do solo com o uso de tensiômetros. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram constituídas por quatro plantas de cobertura: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*) e área com vegetação espontânea (pousio). As subparcelas foram constituídas pelos sistemas de semeadura direta e convencional (preparo do solo com grade aradora e grade niveladora). Em

relação às plantas de cobertura avaliou-se as massas das matérias seca e verde. Quanto à cultura do milho, verificou-se: o rendimento, massa de 100 grãos, número e altura de plantas e teor de macronutrientes nas folhas. De modo geral, concluiu-se que: a melhoria das propriedades físico-hídricas do solo, após cinco anos com o manejo estudado, não ocorreram significativamente; o sistema de semeadura direta apresentou uma maior uniformidade de distribuição de água no perfil do solo e maior produtividade do milho, comparado ao convencional.

TILLAGE OF RED LATOSOL AND THE EFFECT IN SOIL PHYSICO-HYDRICAL PROPERTIES AND IN THE MAIZE YIELD, IRRIGATED FOR SPRINKLER. Botucatu, 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MONICA MARTINS DA SILVA

Adviser: ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Co – Adviser: MARLENE CRISTINA ALVES

2 SUMMARY

The present research had for objective to evaluate the influence of the tillage of the soil in the properties physico-hydrical, in the water distribution in the profile and the maize yield in a RED LATOSOL of cerrado, irrigated for sprinkler with traveller systems. It was carried in the Farm of Education and Research of the College of Engineering of Ilha Solteira UNESP, located in the City of Selvíria-MS. The research had beginning in the agricultural year of 1997/1998 with the culture of the maize (*Zea mays* L.) in the summer and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the winter. The culture of summer and winter had been irrigated by sprinkler using traveller systems with pressure of service of 425 kPa, diameter of the nipple of 16 mm, with 20 m³ h⁻¹ outflow, with maximum ray of reach 30 m. The following properties physico-hydrical of the soil had been evaluated: bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity, texture, resistance to penetration, water infiltration in the soil and hydraulic conductivity of saturated soil and soil water retention at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depth. Moreover, was studied of the soil water content with the use of tensiometers. The completely randomized design with subdivided (split plot block) parcels, with five treatments and four repetitions. The parcels had been constituted by four cover plants: *Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea* and *Cajanus cajan* and area with spontaneous vegetation. Subparcelas had been constituted by no-tillage and conventional tillage (disk plow and disk harrow). In relation to the cover plants the weight dry and green substance was evaluated. How much to the culture of the maize, it was verified the yield, mass of 100 grains, number and height of plants and macronutrients contents in leaf. In general way, one

concluded that: the improvement of the properties physico-hydric of the soil, after five years with the studied handling, had not occurred significantly; the no-tillage presented a bigger uniformity of water distribution in the profile of the soil and greater productivity of the maize, compared with the conventional.

Keywords: Physico-hydric properties, no-tillage, conventional tillage, cover plants, maize yield.

3 INTRODUÇÃO

O objetivo de alcançar produtividades elevadas e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo tem conduzido os pesquisadores ao estudo de métodos que visem o sistema de manejo mais adequado. A análise das propriedades físico-hídricas do solo tem grande importância para resolução de problemas ligados ao armazenamento e transporte de água e de nutrientes, infiltração e escoamento superficial de água, bem como a irrigação e a drenagem.

O comportamento das plantas, segundo Alves (1992), quer seja daquelas pertencentes à vegetação natural ou às referentes aos ecossistemas agrícolas, depende de uma série de fatores diretos como, temperatura, precipitação e solo. Ao analisar o solo, tem-se aqueles elementos que, em combinação, definem diretamente o crescimento das plantas, que são os fatores físicos de crescimento das mesmas: potencial de água no solo, aeração, temperatura do solo e resistência à penetração de raízes. Esses fatores físicos de crescimento das plantas são influenciados por outras características físicas, tais como: textura, superfície específica, densidade do solo, estrutura e consistência.

Devido o uso intensivo do solo, esse tem-se degradado rapidamente, principalmente nos países tropicais, despertando nas últimas décadas, a sustentabilidade da exploração agrícola bem como a preocupação com a qualidade do solo.

Os altos índices de produtividade e a maior rentabilidade, dependem fundamentalmente da capacidade produtiva dos solos. Plantas de importância econômica,

como o milho, por exemplo, podem produzir mais quando cultivado sob semeadura direta e rotação com plantas de cobertura. Assim, a associação de práticas agrícolas, como: a calagem, a rotação de culturas e a adubação verde, objetivam proporcionar modificações nos teores de nutrientes no solo, na sua estrutura, na porosidade, na agregação, na densidade do solo, na infiltração e na disponibilidade de água, tendo em vista o adequado crescimento radicular da cultura.

Segundo Andreola et al. (2000a), além das práticas já citadas, outras práticas de manejo de solos e de culturas, tais como: cultivo mínimo, semeadura direta, adubação orgânica, consorciação, dentre outras, têm sido recomendadas com o objetivo de reverter o processo de degradação física dos solos agrícolas, proporcionando assim melhor distribuição de água no perfil do solo. Pode-se acrescentar ainda a tais práticas a irrigação, a qual, vem para auxiliar no melhor desempenho e produtividade das culturas em questão.

O surgimento de importantes pólos produtores de grãos, como é o caso das extensas áreas do centro-oeste, sudeste e do sul do país, é responsável pelo aparecimento das novas tecnologias disponíveis para os agricultores, pela expansão da produção em áreas não tradicionais e pelas modificações nas formas de conduzir as lavouras. Nessas regiões, como é o caso da região da Alta Mogiana, no Estado de São Paulo, destaque especial deve ser dado ao desenvolvimento da agricultura irrigada, com uso intensivo do solo e insumos agrícolas, exigindo altos níveis de produtividade para assegurar ao produtor bom retorno econômico.

Com o crescimento da agricultura irrigada, as informações sobre o manejo de sistemas de irrigação, culturas e solo são necessários, para que haja um manejo adequado desses sistemas e assim evitar prejuízos ao produtor e ao meio ambiente.

O uso eficiente da água em um projeto de irrigação leva, juntamente com o planejamento cultural, ao alcance da máxima produção e da boa qualidade do produto, isso porém, se for levado em consideração conhecimentos das inter-relações solo-água-planta-atmosfera e manejo da irrigação.

O solo, no sistema solo-água-planta-atmosfera, é abordado de forma evidenciada por promover o desenvolvimento das plantas e por ser constantemente modificado pelo homem. Dentre as características do solo, as propriedades físico-hídricas como a infiltração e a condutividade hidráulica, ou seja, a distribuição de água no perfil do solo deve

ser estudada, pois o conhecimento desta característica se faz necessário ao se projetar sistemas de irrigação ou de conservação do solo, sendo o entendimento do processo de infiltração e de suas relações com as demais propriedades do solo, de grande importância para o manejo do solo e da água (COSTA, 1996).

Nesse contexto, as operações de preparo do solo causam alterações nas propriedades físicas do mesmo, as quais são importantes fatores de desenvolvimento das plantas. Dentre as propriedades do solo que sofrem modificações estão sua estrutura, porosidade, densidade e, conseqüentemente as propriedades físico-hídricas como infiltração, condutividade hidráulica, armazenamento de água, bem como sua distribuição no perfil do solo.

Segundo Baeumer & Bakermans (1973), o surgimento de camadas compactadas, e conseqüentemente o aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade, acarretam a diminuição da infiltração de água no solo além de serem responsáveis pela retenção de água a maiores tensões, o que dificulta a sua absorção pelas plantas.

A permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade do tamanho dos poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água (SOUZA & ALVES, 2003).

As alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciando-se por modificações nos valores de densidade, afetam sua resistência à penetração, a porosidade total, a distribuição do diâmetro dos poros e sua porosidade de aeração, a armazenagem e disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água na superfície e no seu perfil, bem como a consistência e a máxima compactabilidade do solo (KLEIN et al., 1998).

Desta forma, a presente pesquisa teve por objetivo verificar a influência do manejo do solo nas propriedades físico-hídricas, na distribuição de água no perfil e na produtividade do milho em um LATOSSOLO VERMELHO de cerrado, irrigado por aspersão com autopropelido.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Impacto do manejo nas propriedades físico-hídricas do solo

A água é um dos elementos mais importantes na superfície terrestre e fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso seu manejo racional é um imperativo na maximização da produção agrícola (Reichardt, 1985). Para desenvolver seu papel em relação às plantas, o solo comporta-se como um reservatório de água, no qual as plantas se beneficiam à medida de suas necessidades. Por outro lado, o manejo periódico e inadequado do solo causa danos a sua estrutura, diminui a rugosidade superficial, a porosidade total, modifica o tamanho dos agregados, o que pode promover alterações consideráveis em fatores relacionados à dinâmica da água no sistema solo-planta. Em tempos em que o solo e a água se tornam fatores limitantes à produção em certas regiões do mundo, é muito importante manejar de forma coerente e sensata estes recursos (Oliveira, 1997). Assim, estudos têm sido conduzidos com a expectativa de se obter melhora nessas características do solo, as quais podem condicionar aumento da retenção de água pelo mesmo.

A semeadura direta, devido à mínima mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, diminuem significativamente as perdas de solos e de água por erosão hídrica, atendendo ao aspecto conservacionista do solo. Os fatores que determinam a redução da erosão hídrica na semeadura direta, podem provocar

modificações na estrutura e na porosidade do solo quanto à infiltração de água e do crescimento radicular, resultando em condições distintas daquelas apresentadas pelos sistemas convencionais (SÁ, 1993).

Algumas características do solo relacionadas com o transporte de água são afetadas pelo sistema de cultivo e são dinâmicas (DERPSCH, 1997; SCAPINI et al., 1998). Na semeadura direta a densidade da camada superficial do solo tende a aumentar, causando redução na porosidade total, devido à diminuição dos macroporos e aumento dos microporos. Entretanto, os valores mais elevados de densidade observados em diferentes tipos de solo não causaram problemas para o crescimento de raízes (ANJOS et al., 1994). Segundo Derpsch et al. (1991), a maior densidade do solo na semeadura direta pode ser favorável por aumentar a retenção de água. Além disso, a infiltração de água é maior na semeadura direta quando comparada ao preparo convencional por proporcionar maior cobertura do solo e com isso reduzir o encrostamento e aumentar a estabilidade dos agregados na camada superficial. Na semeadura direta a condutividade hidráulica do solo saturado tende a ser maior, o que favorece a infiltração de água. Da mesma forma a retenção de água é maior nesse sistema (CARVALHO et al., 1999). Por outro lado, Derpsch et al. (1991) utilizando infiltrômetros de anéis para a avaliação das influências das características dos perfis dos solos sobre a infiltração, verificaram maior taxa de infiltração no preparo convencional do solo e a menor, na semeadura direta, sendo este resultado relativo à proporção de macroporos.

A semeadura direta, por ser um sistema conservacionista de preparo do solo contribui significativamente para diminuição da erosão. Por ser um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a mobilização é efetuada apenas na linha de semeadura, mantendo os restos culturais da cultura anterior na superfície, protege o solo contra a chuva e permite maior infiltração de água no perfil. O solo coberto com resíduos culturais apresenta melhora em sua estrutura na camada superficial, devido ao aumento de umidade e de matéria orgânica e à proteção contra chuva e enxurrada (DE MARIA & CASTRO, 1993).

Os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis (solo úmido – consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações pode levar a modificações na estrutura do

solo, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas, e, conseqüentemente, reduzir sua produtividade (DE MARIA et al., 1999).

Outro aspecto a ser observado, de acordo com Valle Jr (1995), é que a maioria dos Latossolos possui elevado teor de argila, predominantemente caulinita, que devido à sua estrutura cristalina (1:1) apresenta baixa retenção de água. Possui também, elevada quantidade de óxidos de Ferro e alumínio, agindo como agentes cimentantes das partículas de argila, formando, muitas vezes, agregados que aumentam a macroporosidade, contribuindo para a baixa retenção de água desses solos.

Segundo Hillel (1970), quanto maior o teor de argila, maior o conteúdo de água no solo sob dada tensão.

Ribon (2000) estudando as propriedades físicas de um Latosolo e um Argissolo cultivados com seringueira e submetidos a vários manejos, verificou que, independente do manejo empregado, o Latosolo reteve uma maior quantidade de água em relação ao Argissolo em todas as tensões aplicadas, confirmando a influência da textura sobre a retenção de água no solo, sendo os solos com maior teor de argila aqueles que retém maior conteúdo de água.

Kitur et al. (1994) estudando o efeito de manejos do solo no crescimento e produtividade de milho, observaram alterações em algumas propriedades físico-hídricas do solo, dentre elas a retenção de água.

Ainda Lal (1994), avaliando diversos sistemas de preparo do solo, concluiu que em sistemas onde houve mobilização mínima do solo, houve maior armazenamento de água ao longo do ciclo da cultura.

Dalmago et al. (2002), estudando a disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e semeadura convencional, verificaram que a semeadura direta mantém, por um período mais prolongado, maior disponibilidade de água no solo, ou seja, potencial matricial menos negativos em relação ao convencional.

Segundo Stone e Moreira (1998), na semeadura direta sob irrigação, a cobertura vegetal do solo e a presença de raízes mortas aumentam em conjunto a rugosidade e a infiltração de água no solo. Assim, esse fato aliado à maior estabilidade estrutural faz com que infiltre maior quantidade de água reduzindo a perda de água por escoamento superficial.

Além disso, o que verifica-se também nesta situação é um maior armazenamento de água no solo, que em conjunto com temperaturas mais estáveis, têm garantido maiores volumes de água disponível às plantas no perfil do solo sob semeadura direta. Estes autores realizaram pesquisa com feijão irrigado e verificaram menor tensão matricial de água no solo e menor variação no tratamento sob semeadura direta, o que significa dizer que sempre houve mais água disponível para as plantas e menor variação no seu conteúdo.

Todavia, Zimmermann (2001) ao analisar as alterações no dossel vegetativo e no rendimento de grãos de milho e sua relação com as variações no armazenamento, disponibilidade e extração de água do solo por plantas de milho irrigadas sob dois sistemas de preparo do solo, verificou que a semeadura direta e a semeadura convencional não diferiram quanto ao armazenamento e à disponibilidade de água no solo às plantas de milho.

4.2 Movimento da água no perfil do solo

Em função do manejo a que está submetido, o solo é passível tanto de degradação quanto de melhoramento em seu potencial produtivo, visto que este recurso natural está inserido em um ecossistema e, portanto, sujeito a variações dos demais componentes, como por exemplo a água, (SILVA et al., 1985; DEDECEK, 1987). Portanto, a irrigação é a técnica que permite fornecer água ao solo quando sua umidade se reduz, evitando-se que as culturas tenham suas produtividades afetadas (MARCIANO, 1995).

Um dos principais objetivos do controle da irrigação, segundo Jensen (1981) é otimizar a umidade do solo, e conhecendo-se a lâmina de água a ser aplicada é possível obter uma aplicação e uma distribuição eficientes de água pelo sistema de irrigação.

O solo é constituído de uma parte sólida (minerais e matérias orgânicas) e uma parte porosa, classificada em micro e macroporos, ocupada pela solução e/ou gases do solo. Nos macroporos o efeito da força gravitacional sobre a fração líquida predomina, fazendo com que o mesmo não consiga reter a água, provocando sua percolação. Já nos microporos as forças que predominam são as resultantes do efeito da tensão superficial, ou forças de curto alcance, denominadas forças de London van der Waals. Os microporos

estão dispostos em forma de canálculos contínuos de pequeno comprimento que se dirigem em diferentes direções, daí o fato que a redistribuição de água horizontalmente em um solo no qual predomina os microporos é muito mais intensa que num solo que predominam os macroporos (MARCIANO, 1995).

Como a água deixa constantemente o solo, percolando para o lençol freático, evaporando para a atmosfera ou sendo absorvida pelas plantas, naturalmente, a única maneira pela qual seria possível a manutenção de um teor de água no solo estável e adequado às plantas seria o seu fornecimento pela chuva em quantidades equivalentes as que deixam o solo por percolação, evaporação e absorção pelas plantas. Mas, a chuva não é um evento contínuo, fornecendo água ao solo com frequência indefinida e em quantidades variáveis. Esse fornecimento instável faz com que algumas vezes o solo se torne saturado, e outras deficiente em água, prejudicando assim, o desenvolvimento das plantas (MARCIANO, 1995).

A quantidade de macroporos e de microporos de um solo varia de acordo com a quantidade de areia, silte e argila (textura do solo). Quanto menor o tamanho das partículas minerais e menor o teor de matéria orgânica, maior vai ser a quantidade de microporos e provavelmente a uniformidade da umidade. Perrens (1984) relacionou a uniformidade de redistribuição de água com a textura do solo e constatou que a 0,50 m de profundidade, durante um período de dois dias, a uniformidade aumentou de 60 % para 67 % em um solo de textura arenosa e de 60 % para 73 % em um solo do tipo areno-siltoso.

Paiva (1980), estudando o efeito da redistribuição de água no solo irrigado por um sistema de aspersão convencional concluiu que com o decorrer do tempo após a irrigação, a uniformidade de distribuição sofreu aumento nos seus coeficientes em todas as profundidades estudadas. Quanto mais profundo maior foi a uniformidade da umidade no solo. Mesmo onde a irrigação foi desuniforme, em curtos intervalos de tempo, a uniformidade da umidade alcançou altos valores.

Muitos estudos expressam a importância dos conceitos de potencial de água no solo e suas inter relações com o estado de umidade desse solo, vinculados aos processos de movimento e retenção de água (KLAR, 1984; REICHARDT, 1985).

O movimento de água no solo se dá sempre que houver uma diferença de potencial total entre dois pontos, isto é, sempre que houve um gradiente de potencial. Isso

ocorrerá do ponto de maior potencial para o de menor potencial, numa tendência a assumir um estado de energia mínimo, procurando o equilíbrio com o meio ambiente.

Segundo White (1985) as três principais propriedades da água que determinam sua quantidade e o seu movimento no solo são o potencial matricial, o teor de água no solo e as funções de condutividade hidráulica do solo.

Sendo o solo um corpo tridimensional e heterogêneo, a condutividade hidráulica e o movimento da água dependem da variabilidade espacial do solo e posição do relevo. Em condições de campo, é possível considerar o fluxo como um fenômeno de equilíbrio dinâmico. À medida que diminui o conteúdo de água, seu deslocamento é mais tortuoso, pois o fluxo ocorre em pequenos poros, os quais retém água a maiores tensões (BAVER et al., 1972).

Dessa forma, o estudo das propriedades físico-hídricas bem como o monitoramento do teor de água do solo, são essenciais para a existência de uma agricultura sustentável, permitindo que as práticas de manejo do solo e da água afetem o mínimo possível o meio ambiente.

4.3 Influência das plantas de cobertura nas propriedades físicas do solo e na produtividade das culturas

A agricultura moderna é um dos grandes agentes degradadores do meio ambiente e uma das alternativas para minimizar os impactos causados devido o manejo do solo é a utilização do sistema de semeadura direta devido ao não revolvimento do mesmo e à presença de cobertura morta.

Segundo Derpsch et al. (1986), o sucesso da semeadura direta depende do uso da sucessão de culturas e da cobertura vegetal a qual minimiza os efeitos da compactação superficial devido à presença da cobertura morta. Portanto, quanto mais matéria seca a espécie produzir, mais cobertura permanecerá na superfície do solo. Marques et al. (2002) estudando as quantidades de nutrientes restituídos ao solo através de plantas de cobertura (milheto e aveia preta) e resíduos das culturas de soja e milho, em função da aplicação ou não de calcário na implantação do sistema de semeadura direta, verificaram que o

milheto mostrou-se com capacidade de maior produção de matéria seca para cobertura do solo, em relação à aveia preta. Almeida (2001) trabalhando com sucessão de culturas em preparo convencional e semeadura direta verificou efeitos significativos entre adubos verdes sendo o milheto a espécie que apresentou maior produção de matéria seca e matéria verde, portanto, considerada ótima espécie para cobertura do solo.

Paula et al. (1998) salientam que tanto podem ser empregadas gramíneas ou leguminosas na adubação verde e como plantas de cobertura. As gramíneas que possuem um sistema radicular mais denso, provocam normalmente uma melhoria nas propriedades físicas do solo, como aumento da macroporosidade, da agregação e estabilidade dos agregados, da friabilidade do solo e da retenção de água. As leguminosas, devido a presença de um sistema radicular geralmente mais bem ramificado e profundo, que promove a reciclagem de nutrientes das camadas inferiores e, com a morte e decomposição das raízes, formam canalículos que aumentam a infiltração de água no solo.

A produtividade de massa seca e teor de nutrientes de leguminosas e de espontâneas crescendo em Latossolo Vermelho-Escuro em Sete Lagoas - MG, foi estudada por Favero & Jucksch (2000), onde estes autores destacam que as plantas espontâneas a exemplo dos adubos verdes, também realizam a ciclagem de nutrientes e produzem massa seca considerável. Geralmente, as plantas espontâneas apresentam teores de fósforo, potássio e magnésio similares ou maiores que leguminosas.

Calegari (1993) relatou que a adubação verde se destaca entre as técnicas sustentáveis que procuram otimizar o aproveitamento e os benefícios da matéria orgânica. Essa técnica visa a proteção superficial do solo bem como a melhoria e manutenção de suas características físicas, químicas e biológicas. Dessa forma, a adubação verde constitui um conjunto de ações integradas que trazem grandes benefícios aos solos e sistemas agrícolas em geral, como por exemplo: elevação da taxa de infiltração e aumento da capacidade de retenção de água, proteção do solo contra erosão, recuperação da estrutura, adição de matéria orgânica, aumento da CTC, aumento da diversificação da população de microrganismos do solo, incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo. Aita et al. (2001), estudando plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho, verificaram que no primeiro ano de avaliação, 57 % do nitrogênio presente inicialmente na fitomassa das leguminosas, foi liberado

nos primeiros 30 dias após o manejo e, no segundo ano, 60 % do nitrogênio foi liberado, tendo conseqüências importantes no fornecimento deste nutriente à cultura em sucessão. Segundo Haas (1997) a cobertura do solo agregada ao sistema de semeadura direta, é a grande responsável pela otimização do aproveitamento de nutrientes, tanto dos fertilizantes, como do próprio solo, num processo lento e gradual de melhorias físico-químicas.

Ainda hoje, o método mais utilizado para eliminar camadas compactadas do solo é a utilização de subsoladores que, por meio de hastes penetrando e se movimentando dentro da camada, conseguem quebrá-la, amenizando, assim, o impedimento ao desenvolvimento das raízes. Uma opção para diminuir a compactação é a sucessão de culturas, utilizando espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de se desenvolver em solos com alta resistência mecânica à penetração (SILVA & ROSOLEM, 2001). A sucessão de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, também pode alterar as propriedades físicas do solo. A intensidade da alteração depende do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas (STONE & SILVEIRA, 2001). De acordo com Nuerenberg et al. (1986), plantas que produzem raízes profundas, com crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados. Muitas vezes, deve-se adotar o consórcio de duas ou mais espécies, ou mesmo a rotação adequada de culturas, para que os resultados sejam rapidamente evidenciados. Neste caso, segundo Silva & Rosolem (2001), é necessário conhecer as espécies que podem ser incluídas em determinado sistema de rotação de culturas, bem como as características do sistema radicular de cada uma delas, visando adequá-las corretamente na área onde serão estabelecidas.

Negro et al. (2000), estudando o sistema radicular de leguminosas quanto aos efeitos na recuperação do solo e produtividade do milho para silagem, concluiu que não houve diferença significativa para médias de densidade de raízes para os tratamentos empregados. Para as leguminosas solteiras, os tratamentos crotalaria e guandu produziram maior quantidade de matéria seca de raízes. Para o consórcio leguminosas + milho, o feijão-de-porco foi o que apresentou menor produção de matéria seca. A resistência à penetração foi maior no tratamento milho + feijão-de-porco, não diferindo do tratamento milho e labe-labe. Entre profundidades, a camada de 0-0,30 m apresentou maior resistência à penetração. A

macroporosidade foi menor na camada de 0,10-0,20 m e, na mesma profundidade a densidade do solo foi maior, porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Brodebent & Nakashima (1974) dizem que quando a cobertura do solo é incorporada, apesar de muitas vezes ser uma quantidade considerável de massa, parece haver pouca influência sobre as propriedades físicas do solo. Isso porque a prática da aração e da gradagem cria condições favoráveis à decomposição do material incorporado e não há acúmulo de matéria orgânica e, em determinadas situações, especialmente quando a relação C/N for muito estreita (menor que 20:1), pode haver decomposição da matéria orgânica do próprio solo. Andreola et al. (2000b) resumem isso afirmando que quando em estado vegetativo, sua ação sobre as propriedades físicas é indireta, pela proteção física da superfície do solo, evitando a degradação superficial, e direta, pelo crescimento das raízes. Com a incorporação, todo trabalho realizado pela cobertura é destruído. Assim, algumas propriedades como a formação e a estabilidade de agregados, a retenção de água, a porosidade e a aeração do solo, são alteradas.

Siqueira et al. (1996) comparando sistemas de preparo do solo (semeadura direta, arado de aiveca, arado de discos, grade pesada + arado de aiveca, grade pesada + arado de discos e grade pesada), em Coimbra - MG, observaram que o sistema de preparo com arado de disco foi o que apresentou os menores valores para densidade do solo e os maiores para porosidade total na camada de 0,10-0,20 m. A menor desagregação do solo ocorreu na semeadura direta e nenhum sistema de preparo sobressaiu-se, quer na manutenção das propriedades físicas do solo, quer em deterioração.

Os principais fatores que afetam a retenção de água pelo solo são: textura e tipo de argila, matéria orgânica e estrutura do solo, a qual é mais importante para os Latossolos do que a composição granulométrica (Dias Junior, (1996) citado por Carvalho, 1997), deixando clara a importância da utilização da adubação verde na melhoria das propriedades físico-hídricas do solo, como o armazenamento de água.

Amado et al. (2000) estudando a disponibilidade de nitrogênio na semeadura direta, semeadura convencional e preparo reduzido em três sistemas de cultura: aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho + caupi e ervilhaca/milho e três doses de nitrogênio: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, não verificaram diferença estatística no rendimento de grãos entre a semeadura direta e a semeadura convencional.

Entretanto, Ribeiro et al. (2002), avaliando cultivares de milho de diferentes grupos em sistemas de semeadura direta e semeadura convencional em três níveis de adubação em cobertura, verificaram diferença estatística no rendimento de grãos, isto é, a média geral da semeadura convencional foi 8267 kg ha⁻¹ de grãos contra 6532 kg ha⁻¹ na semeadura direta.

Ainda Fernandes et al. (1998) com o objetivo de avaliar o efeito da semeadura direta, semeadura convencional com arado de discos e semeadura convencional com arado de aiveca, e de doses crescentes de nitrogênio na produtividade do milho irrigado por aspersão em um Latossolo Vermelho, verificaram que a semeadura direta proporcionou maior produção de grãos (6177 kg ha⁻¹) em relação aos sistemas de disco (5045 kg ha⁻¹) e aiveca (4640 kg ha⁻¹).

Garcia et al. (2002) estudando o rendimento do milho e a relação existente com o teor de clorofila nas folhas, em resposta aos adubos verdes e à adubação nitrogenada em diferentes doses, verificaram que o milheto e o guandu foram as alternativas mais promissoras em termos de formação de cobertura vegetal do solo, no cultivo antecipado, visando à implantação da semeadura direta, com possíveis economias na utilização de adubos nitrogenados na cultura do milho utilizada em sucessão e ainda verificaram produtividade de 10593 kg ha⁻¹ de espigas de milho na área onde se encontrava o milheto e 11059 kg ha⁻¹ de espigas, na área do guandu.

Cardoso et al. (2002) estudando os componentes de rendimento de grãos de híbridos e variedades de milho, irrigados por aspersão convencional, em um Neossolo quartzarênico no município de Parnaíba-PI, verificaram produção geral de 6441 kg ha⁻¹.

Assim sendo, deve-se conduzir a atenção para a utilização de adubos verdes ou de plantas de cobertura do solo, por trazer benefícios às práticas e manejo do solo, considerando além dos benefícios, a economia com uso de adubos químicos e, por aumentar o armazenamento de água no solo e diminuir os gastos com a água de irrigação.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, localizada no Município de Selvíria – MS (Figura 1), apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 335 metros.

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido – LVd (Demattê, 1980; Embrapa, 1999; Souza, 2000), cuja análise granulométrica consta na Tabela 1. A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1370 mm e 23,5° C, respectivamente, e a média anual da umidade relativa do ar varia entre 70 e 80 %.

Na Tabela 2 consta a análise química do solo realizada no primeiro e no último ano de pesquisa, 1997 e 2003, respectivamente.



Figura 1: Foto aérea da Fazenda de Ensino e Pesquisa-UNESP de Ilha Solteira

Tabela 1: Análise granulométrica do Latossolo Vermelho estudado.

Preparos	Camada (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
		argila	areia	Silte
Semeadura convencional	0,0-0,10	430	461	108
	0,10-0,20	444	458	96
	0,20-0,40	484	412	103
Semeadura direta	0,0-0,10	483	441	75
	0,10-0,20	400	502	96
	0,20-0,40	463	466	69

Tabela 2: Análise química do solo realizada no primeiro ano de condução do experimento e no último ano nas camadas de 0,0-0,40 m e 0,0-0,25 m respectivamente.

Anos	pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V (%)
1997	5,2	23,0	12	1,5	24,4	7,3	24,2	33,2	57,5	56,1
SD 2003	4,0	24,6	24,6	2,3	17,6	8,4	42,1	28,9	72,7	40,3
SC 2003	4,7	26,7	19,9	2,1	18,1	9,0	34,5	28,2	72,0	47,0

SD= semeadura direta; SC= semeadura convencional

Fonte: CARVALHO (2000); ALVES (2003). Comunicação pessoal

5.2 Histórico da área experimental

O experimento teve início no ano agrícola de 1997/1998 (Carvalho, 2000), com a cultura do milho (*Zea mays* L.) no verão e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no inverno, tendo continuidade nos anos de 1998/1999 (Carvalho, 2000), 1999/2000 (Almeida, 2001), 2000/2001, 2001/2002 (Suzuki, 2002).

Para o presente trabalho, foi acompanhado o ano agrícola de 2002/2003, sendo utilizado o período referente a cultura de verão (milho).

O solo foi preparado inicialmente em 1997 com uma aração e duas gradagens e, em seguida semeado o feijão. Após a colheita do feijão, em setembro, realizou-se o preparo do solo, aplicando-se na área destinada à semeadura direta o herbicida glyphosate (2.400 g ha⁻¹ do i. a.), herbicida para dessecação e, na área destinada ao preparo convencional feita uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras.

Em seguida procedeu-se a semeadura das plantas de cobertura e, em dezembro realizou-se o manejo destas, sendo que na área destinada a semeadura direta fez-se a dessecação das plantas de cobertura e, nas áreas do preparo convencional as plantas de cobertura foram roçadas. Posteriormente realizou-se uma gradagem pesada e duas niveladoras e, semeada a cultura do milho.

Este procedimento de manejo do solo está sendo utilizado desde a implantação do experimento, em 1997/1998, portanto a cinco anos.

5.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro plantas de cobertura e área de pousio (vegetação espontânea) e, dois sistemas de semeadura.

As parcelas foram constituídas por quatro plantas de cobertura: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*) e área com vegetação espontânea (pousio) (Figura 2). As subparcelas foram constituídas pelos sistemas de semeadura direta e convencional (preparo do solo com grade aradora e grade niveladora). Cada subparcela teve a dimensão de sete metros

de largura por seis metros de comprimento, e foram espaçadas uma das outras por uma distância de sete metros (Figuras 3 e 4).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subdivididas, com quatro blocos.



Figura 2: Vista geral das plantas de cobertura do solo

5.4 Condução do experimento

No ano agrícola de 2002/2003, ou seja, durante a condução da presente pesquisa, realizou-se as mesmas atividades citadas anteriormente, sendo que em maio de 2002 foi semeada a cultura de inverno (feijão), em 17 de setembro, as plantas de cobertura e em 13 de dezembro foi semeada a cultura de verão (milho).

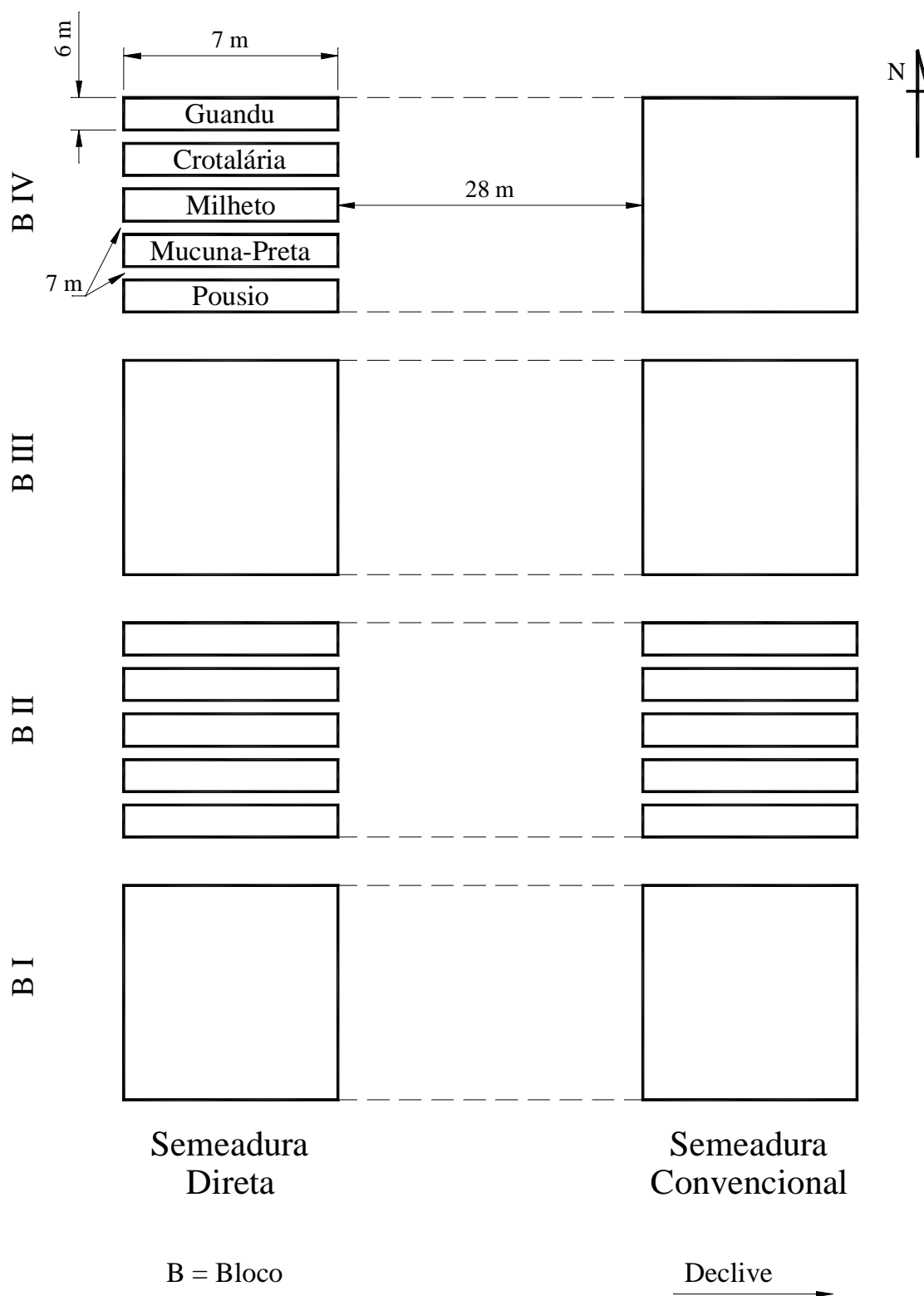


Figura 3: Croqui da área experimental

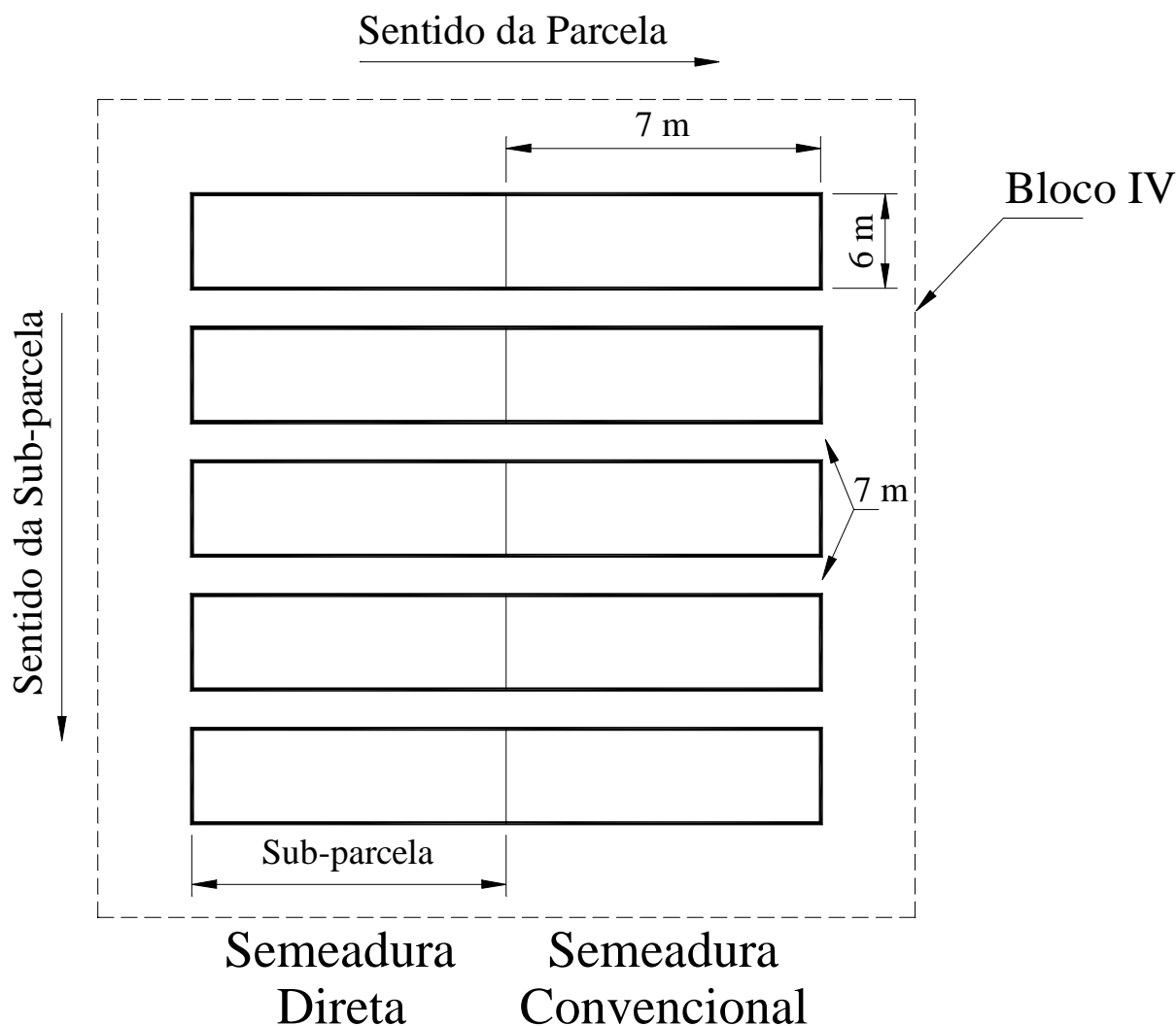


Figura 4: Croqui da área experimental com detalhe das parcelas e subparcelas.

A cultura de verão e inverno foram irrigadas por aspersão utilizando-se um autopropelido com pressão de serviço de 425 kPa, diâmetro do bocal de 16 mm, com vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, cujo raio de alcance máximo é 30 m (Figuras 5 e 6).

Para o milho, cultura em que foram realizadas as avaliações, utilizou-se o híbrido 3050 Agromen, empregando-se 5,4 sementes / m de sulco de semeadura, com espaçamento de 0,90 m entrelinhas. A adubação básica de semeadura foi de 250 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16. No florescimento pleno do milho realizou-se as avaliações da altura de plantas, número de plantas e coleta de folhas para realizar-se a determinação do teor de macronutrientes. A colheita da cultura ocorreu em 17/04/2003.



Figura 5: Deslocamento longitudinal do autopropelido ao longo da área a ser irrigada



Figura 6: Carretel do autopropelido

5.5 Avaliações

5.5.1 Análise das propriedades físico-hídricas do solo

5.5.1.1 Densidade do solo

Foram coletadas amostras indeformadas para determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, em três camadas, 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. No laboratório, foi utilizada a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

5.5.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

As amostras foram coletadas com anéis volumétricos de bordos cortantes e de capacidade interna variando de 97,98 a 100,29 cm³. O método empregado para a determinação dessas características foi o da "mesa de tensão", com o emprego de amostras indeformadas, segundo Vomocil (1965) e Leaner & Shaw (1941), modificado por Kiehl (1979). Adotou-se os critérios da Embrapa (1997).

5.5.1.3 Resistência à penetração

A resistência à penetração foi medida com o penetrógrafo modelo Penetrographer^{Pat} SC-60, em duas camadas, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. Os resultados foram classificados de acordo com Soil Survey Staff (1993), citados por Arshad et al., (1996), sendo expressos em MPa.

5.5.1.4 Infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado foi avaliada no campo utilizando-se o permeâmetro de Guelph, modificado por Vieira (1996).

Mediu-se a taxa constante de infiltração e se calculou a condutividade hidráulica segundo Reynolds & Elrick (1985). Feitas as medições, os dados foram analisados segundo modelos matemáticos propostos por Vieira et al., (1988) de acordo com a seguinte equação:

$$Q = \left\{ \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H^2}{C} \right) + \pi \cdot a^2 \right\} Kfs + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H}{C} \right) \Psi_m$$

em que: Kfs= é a condutividade hidráulica do solo saturado no campo, (cm s⁻¹)

Ψ_m = é o potencial matricial do fluxo, (cm² s⁻¹)

Q= é o fluxo constante, (cm³ cm⁻³)

H= é a carga hidráulica utilizada

C= é um fator de geometria, (cm cm⁻¹)

a= é o raio do orifício onde as medições foram feitas, (cm).

A solução da equação gera valores de Kfs em cm h⁻¹. As avaliações foram feitas nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m empregando-se duas cargas hidráulicas, de 0,03 e 0,06 m (REYNOLDS & ELRICK, 1985). Os resultados para a infiltração e condutividade hidráulica foram classificados de acordo com Soil Survey Staff (1993).

5.5.1.5 Textura do solo

Foi determinada usando-se o método da pipeta, onde as amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de malha, para que se procedesse a dispersão das partículas e sedimentação (EMBRAPA, 1997).

5.5.1.6 Retenção de água

As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, usando-se um anel volumétrico. Para determinar a retenção de água foram utilizadas amostras indeformadas. À tensão mais baixa, isto é, 6 kPa foi empregado uma

mesa de tensão, segundo Kiehl (1979). Para as tensões de 50, 100 e 200 kPa, foi utilizada a câmara de Richards para verificar a retenção de água, seguindo-se a metodologia de Richards (1965).

5.5.1.7 Monitoramento do teor e armazenamento de água no solo

O monitoramento do potencial matricial de água no solo foi realizado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m, sendo realizado no período em que a cultura do milho requer mais água, isto é, no florescimento. O mesmo foi efetuado nas áreas onde foram cultivadas anteriormente uma leguminosa e uma gramínea, sendo escolhidos a crotalária e o milheto. O período de avaliação foi portanto de 18 de janeiro a 27 de fevereiro de 2003. Foi obtido por transformações das leituras diárias dos tensiômetros (em centímetros de coluna de mercúrio) instalados na área experimental, o potencial matricial, sendo que a expressão que o calcula é assim descrita:

$$\Psi_m = -12,6 H + H_s + H_c$$

em que: Ψ_m = potencial matricial (tensão) de água no solo, (cca)

H = altura da coluna de mercúrio, (cm)

H_s = distância entre a superfície do solo e o centro da cápsula porosa, (cm)

H_c = distância entre a superfície do solo e o nível superior da cubeta de mercúrio, (cm)

O armazenamento de água foi determinado nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, usando-se as mesmas amostras indeformadas nas quais se avaliou a retenção de água. Para o cálculo utilizou-se o seguinte modelo matemático:

$$A = (\theta_6 - \theta_{100}) * p$$

em que: A = armazenamento de água, (mm)

θ_6 = teor de água no solo com base em volume na tensão de 6 kPa

θ_{100} = teor de água no solo com base em volume na tensão de 100 kPa

p= profundidade do solo em estudo, (mm).

O intervalo de armazenamento de água utilizado, ou seja, do conteúdo de água do solo à tensão de 6 kPa até 100 kPa, é devido a maioria das culturas, durante seu período crítico, precisarem de um conteúdo mínimo de água no solo que corresponde a um potencial total de água no solo de no máximo 100 kPa, pois a partir disto resulta em decréscimo significativo da produtividade.

5.5.2 Plantas de cobertura

Por meio da coleta de matéria verde das plantas contidas em 1,0 m², de dois pontos de cada parcela foi determinado a massa de matéria verde e em seguida a massa da matéria seca (estufa a 60-70⁰ C) na época do manejo dos mesmos. Na área de semeadura direta foi feita a dessecação e na convencional a incorporação com grade aradora (85 dias após a semeadura), e os dados transformados em kg ha⁻¹.

5.5.3 Cultura do milho

5.5.3.1 Rendimento de grãos

A produtividade de grãos de milho foi obtida coletando-se as espigas das plantas contidas na área de 3,6 m² de cada parcela. Os grãos foram colhidos e pesados, e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13 % base úmida).

5.5.3.2 Altura média de plantas

A altura média das plantas de milho foi obtida medindo-se a distância entre o colo das plantas até a inserção da última folha, em amostras de 10 plantas de cada parcela.

5.5.3.3 Número médio de plantas

A contagem do número de plantas foi feita colocando-se uma trena de 2 m na linha de plantas de milho, em cada parcela.

5.5.3.4 Massa média de 100 grãos

Avaliou-se com duas amostragens de 100 grãos, da produção obtida em cada repetição avaliada, com posterior pesagem em balança de precisão (0,01 g). Realizou-se essa avaliação no mesmo dia da pesagem da produção para transformação dos dados também para 13 % de umidade.

5.5.3.5 Análise foliar de macronutrientes

Foi coletado aos 90 dias após o plantio, em cada parcela, o terço médio de 30 folhas inseridas na primeira espiga para se proceder a análise foliar, segundo Raji et al. (1987) e Raji e Zullo (1977).

5.5.4 Análise estatística

Para a realização da análise estatística, procedeu-se a análise de variância, com aplicação do teste F e a comparação de médias utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, por meio do programa estatístico SISVAR 4.3 DEX-UFLA, Ferreira (2000).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Propriedades físico-hídricas do solo

6.1.1 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os valores de F para a macroporosidade nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, constam na Tabela 3. Verifica-se que em todas as camadas analisadas não houve diferença entre os preparos do solo, plantas de cobertura, bem como para a interação preparo e planta de cobertura para a macroporosidade.

Na Tabela 4 observam-se os valores médios de macroporosidade para os tratamentos estudados. Verifica-se que os menores valores absolutos para a macroporosidade estão na camada de 0,10-0,20 m e os maiores na de 0,20-0,40 m para ambos os preparos. Almeida (2001), na mesma área experimental deste estudo, verificou valores de macroporosidade de 0,09, 0,09 e 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na semeadura direta para as camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, e na semeadura convencional, para as mesmas camadas, verificou valores de 0,19, 0,07 e 0,13 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

Comparando os resultados obtidos nesta pesquisa, com os obtidos por Carvalho (2000) trabalhando na mesma área, os valores de macroporosidade obtidos foram 0,07, 0,07, 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para semeadura direta nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e 0,15, 0,07 e 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para o convencional. Segundo De Maria et al., (1999) o preparo

do solo e o uso de máquinas pesadas para o seu manejo pode levar a modificações em sua estrutura, que poderá interferir na densidade e porosidade, bem como nas demais propriedades físicas.

Tabela 3: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para macroporosidade nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para macroporosidade		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	0,5 ^{ns}	4,62 ^{ns}	8,97 ^{ns}
CV %	55,79	32,48	24,29
Planta de cobertura (PC)	1,44 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,66 ^{ns}
P*PC	0,42 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV %	47,20	35,23	30,72
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,05	0,03	0,03
Planta de cobertura (PC)	0,06	0,04	0,06
P*PC	0,05	0,04	0,06
PC*P	0,08	0,06	0,09

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Tabela 4: Valores médios de macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), obtidos nos preparos de solo e de plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Macroporosidade		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,08 A	0,07 A	0,11 A
Semeadura convencional	0,09 A	0,08 A	0,14 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,08 A	0,07 A	0,11 A
Pousio	0,09 A	0,08 A	0,13 A
Crotalária	0,10 A	0,08 A	0,13 A
Mucuna	0,10 A	0,09 A	0,14 A
Guandu	0,06 A	0,08 A	0,11 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Negro et al. (2000) estudando o sistema radicular de leguminosas quanto aos efeitos na recuperação do solo e produtividade do milho para silagem verificaram que a macroporosidade foi menor na camada de 0,10-0,20 m e, na mesma camada a densidade

do solo foi maior, porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos, concordando com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Verifica-se também que os valores da macroporosidade estão abaixo do limite crítico de aeração considerado impeditivo para o crescimento das raízes, ou seja, $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968), apresentando na semeadura direta $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e na semeadura convencional $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos.

Souza (2000), estudando as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos, verificou, no primeiro ano de estudos, diferença estatística para a macroporosidade do solo na camada de 0,0-0,10 m entre a condição natural do solo (cerrado), $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido da semeadura convencional, $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e semeadura direta, $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Nas demais camadas estudadas, verificou diferença somente para o cerrado, sendo que a semeadura direta e a semeadura convencional não diferenciaram-se. No segundo ano, na camada de 0,0-0,10 m a macroporosidade do solo sob cerrado permaneceu maior em relação aos outros tratamentos ($0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), entretanto, houve uma inversão entre a semeadura direta e a semeadura convencional, obtendo a primeira, valores de macroporosidade maiores ($0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) que a segunda ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Para as demais camadas a tendência permaneceu a mesma do primeiro ano de avaliação.

Ainda na Tabela 4 observa-se que não houve diferença estatística para macroporosidade entre as plantas de cobertura, em todas as camadas estudadas. Carvalho (2000), nesta mesma área em anos anteriores, também verificou resultados semelhantes para as plantas de cobertura.

Na Tabela 5 constam os valores de F para a microporosidade nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Verifica-se que em todas as camadas analisadas não houve diferença entre os preparos do solo e entre a interação preparo e planta de cobertura para a microporosidade. Entre as plantas de cobertura houve diferença, sendo que a área do guandu obteve maior microporosidade (Tabela 6).

Tabela 5: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para microporosidade nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para microporosidade		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,75 ^{ns}
CV %	5,22	5,45	9,44
Planta de cobertura (PC)	2,88*	0,51 ^{ns}	0,74 ^{ns}
P*PC	1,82 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV %	8,04	6,16	10,58
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,02	0,02	0,03
Planta de cobertura (PC)	0,04	0,02	0,03
P*PC	0,04	0,03	0,05
PC*P	0,06	0,04	0,07

n.s. não significativo

A Tabela 6 mostra que não houve diferença estatística para a microporosidade entre os preparos de solo em todas as camadas estudadas. Todavia observa-se que esta tendeu a ser maior na semeadura convencional na camada de 0,0-0,10 m, igual a semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m e menor na semeadura convencional na camada de 0,20-0,40 m. Carvalho (2000) verificou valores de microporosidade para a semeadura direta de 0,32, 0,32 e 0,34 m³ m⁻³ e para semeadura convencional 0,30, 0,32 e 0,34 m³ m⁻³ nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m respectivamente.

Ainda observa-se que houve diferença estatística entre as plantas de cobertura somente na camada de 0,0-0,10 m sendo a área do guandu, onde observou-se maior valor de microporosidade e a área da crotalária e mucuna as áreas com menor valor.

Tabela 6: Valores médios de microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Microporosidade		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,34 A	0,33 A	0,35 A
Semeadura convencional	0,35 A	0,33 A	0,34 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,35 A B	0,33 A	0,36 A
Pousio	0,34 A B	0,32 A	0,34 A
Crotalária	0,33 B	0,33 A	0,34 A
Mucuna	0,33 B	0,33 A	0,33 A
Guandu	0,37 A	0,33 A	0,35 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 7 constam os valores de F para a porosidade total nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Verifica-se que houve diferença estatística para o preparo do solo na camada de 0,20-0,40 m, enquanto que para as demais camadas não houve diferença estatística bem como para as plantas de cobertura do solo e para a interação preparo e planta de cobertura.

Tabela 7: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para porosidade total nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para porosidade total		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	0,35 ^{ns}	3,9 ^{ns}	18,5 [*]
CV %	9,17	5,89	3,35
Planta de cobertura (PC)	0,19 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,15 ^{ns}
P*PC	2,34 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,82 ^{ns}
CV %	7,79	5,47	5,20
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Planta de cobertura (PC)	0,04	0,03	0,04
P*PC	0,05	0,03	0,03
PC*P	0,07	0,04	0,05

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Na Tabela 8 observa-se que os menores valores de porosidade total estão na camada de 0,10-0,20 m para ambos os preparos do solo. Na camada de 0,20-0,40 m houve diferença entre os preparos, provavelmente devido à variabilidade do solo. Carvalho (2000), na mesma área utilizada para esta pesquisa, obteve de forma geral, para a semeadura direta $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e para a semeadura convencional $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Esses resultados mostram que com os anos de cultivo os resultados para a porosidade total do solo na área sob semeadura direta começam a obter um aumento e que na área sob semeadura convencional não têm se alterado, levando-se ao esperado, ou seja, que a semeadura direta leva a melhoria do solo.

Com relação às plantas de cobertura observa-se que não houve diferença estatística nas camadas de estudo, entretanto, verifica-se que a mucuna foi a planta que proporcionou maior porosidade total ao solo na camada de 0,10-0,20 m, seguida do guandu, crotalária, pousio e milheto. Sasaki et al. (1999) estudando o desenvolvimento de espécies usadas para adubação verde e as alterações nas condições de aeração e matéria orgânica do solo, verificaram que a mucuna-preta apresentou-se mais promissora na recuperação do solo em estudo. De acordo com Nuerenberg et al. (1986), plantas que produzem raízes profundas, com crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados.

Souza (2000), estudando as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos, observou no primeiro ano de avaliações, que na camada de 0,10-0,20 m houve uma redução dos valores médios da porosidade total em relação a camada de 0,0-0,10 m. Já, na camada de 0,20-0,40 m houve um aumento deste atributo em relação a camada de 0,10-0,20 m. Ainda, não observou diferença estatística entre o cerrado ($0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e a semeadura convencional ($0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mas estes foram diferentes estatisticamente em relação à semeadura direta ($0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na camada de 0,0-0,10 m. Nas demais camadas não ocorreram diferenças.

Segundo Mello Filho e Silva (1993), a maior ocorrência de porosidade total na camada superficial sob semeadura convencional em relação a semeadura direta, pode estar ligado ao fato de que as operações de gradagem e aração, tendem a aumentar a porosidade da camada arada, o que não acontece na área de semeadura direta, onde o tráfego

de máquinas, mesmo pouco intenso e o não revolvimento, tende a compactar o solo desde a superfície.

Tabela 8: Valores médios de porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Porosidade total		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,43 A	0,40 A	0,46 B
Semeadura convencional	0,43 A	0,41 A	0,48 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,42 A	0,39 A	0,48 A
Pousio	0,44 A	0,40 A	0,47 A
Crotalária	0,44 A	0,41 A	0,47 A
Mucuna	0,44 A	0,42 A	0,47 A
Guandu	0,43 A	0,41 A	0,47 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.1.2 Densidade do solo

Na Tabela 9 constam os valores de F para a densidade do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Verifica-se que entre as camadas analisadas houve diferença entre os preparos do solo somente na camada de 0,10-0,20 m, entre as plantas de cobertura, bem como para a interação preparo e planta de cobertura, não houve diferença estatística para a densidade do solo.

Na Tabela 10 tem-se os valores médios de densidade do solo para os tratamentos estudados. Segundo Andrade et al. (2002) o efeito do tráfego de máquinas na densidade do solo é acrescido do efeito dos implementos, e chega a 0,40 m de profundidade. Além disso, a maior densidade do solo obtida na camada de 0,10-0,20 m, em ambos os preparos, provavelmente está relacionada aos menores valores de porosidade total nessa camada, além do pé-de-grade formado na semeadura convencional devido a ação do implemento. A menor densidade do solo foi obtida na camada de 0,20-0,40 m, onde há maior porosidade total. Urchei e Fietz (2002) estudando a disponibilidade de água de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo verificaram que não houve diferença estatística

para a densidade do solo entre a semeadura direta, convencional e integração agricultura-pecuária.

Tabela 9: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para densidade do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para densidade do solo		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	1,52 ^{ns}	11,76*	1,46 ^{ns}
CV %	7,12	5,99	5,49
Planta de cobertura (PC)	0,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,19 ^{ns}
P*PC	2,60 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,0 ^{ns}
CV %	4,18	4,18	5,64
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,10	0,09	0,07
Planta de cobertura (PC)	0,11	0,09	0,11
P*PC	0,11	0,09	0,11
PC*P	0,16	0,13	0,15

n.s. não significativo; * significativo 5 %

Tabela 10: Valores médios de densidade do solo (kg dm^{-3}), obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Densidade do solo		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	1,45 A	1,47 B	1,32 A
Semeadura convencional	1,49 A	1,57 A	1,35 A
Plantas de cobertura			
Milheto	1,47 A	1,54 A	1,33 A
Pousio	1,46 A	1,52 A	1,34 A
Crotalária	1,46 A	1,52 A	1,32 A
Mucuna	1,48 A	1,51 A	1,34 A
Guandu	1,50 A	1,52 A	1,35 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Verifica-se ainda que não houve diferença estatística entre as plantas de cobertura (Tabela 10). Negro e Alves (1999) avaliando a produção de matéria seca, o sistema radicular e as influências de quatro leguminosas sobre as condições físicas do solo, não verificaram diferença significativa nos valores de densidade do solo.

Souza (2000) estudando as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos, obteve valores de densidade para um solo em condições naturais (cerrado) de 1,16, 1,31 e 1,25 kg dm⁻³ nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Isto indica que os sistemas de semeadura estudados na presente pesquisa, estão muito acima das condições adequadas. Segundo este mesmo autor, para a área cultivada com semeadura direta, os maiores valores médios da densidade do solo são esperados, principalmente em condições superficiais. Isso ocorre, nos primeiros anos do sistema, devido ao arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer a manipulação mecânica. Entretanto, com o passar dos anos, é de se esperar que a densidade do solo diminua, devido ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo sua estruturação.

6.1.3 Resistência à penetração e umidade do solo

Na Tabela 11 constam os valores de F para a resistência à penetração nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Observa-se que houve significância somente para a camada de 0,10-0,20 m quando relacionada ao preparo do solo. Porém, para a planta de cobertura assim como a interação entre preparo e planta de cobertura utilizada, não houve influência nesse parâmetro analisado. Para a camada de 0,20-0,40 m não ocorreu interferência do preparo do solo, da planta de cobertura e nem da interação entre preparo e planta de cobertura.

Na Tabela 12 estão os valores médios da resistência à penetração, em função do preparo do solo e plantas de cobertura. Na camada de 0,10-0,20 m, na semeadura direta a resistência à penetração foi maior. De acordo com Secco et al. (2000) a ausência de revolvimento do solo na semeadura direta promove a compactação excessiva do solo em superfície, principalmente em solos com elevados teores de argila, como é o caso do solo em estudo. Verifica-se ainda, que a resistência diminuiu com a profundidade do solo na semeadura direta e o contrário ocorreu na semeadura convencional, deixando claro que a menor resistência na camada superficial do solo na semeadura convencional, foi devido ao revolvimento da camada arável do solo.

Tabela 11: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para resistência à penetração nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para resistência à penetração	
	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	16,34 *	0,25 ^{ns}
CV %	38,32	53,72
Planta de cobertura (PC)	0,44 ^{ns}	0,22 ^{ns}
P*PC	0,42 ^{ns}	0,77 ^{ns}
CV %	38,92	42,98
DMS Tukey a 5 %		
Preparo (P)	1,01	1,33
Planta de cobertura (PC)	1,51	1,56
P*PC	1,49	1,55
PC*P	2,13	2,21

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Tabela 12. Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa), obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Resistência à penetração	
	Camadas (m)	
	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	3,27 A	2,36 A
Semeadura convencional	1,98 B	2,57 A
Plantas de cobertura		
Milheto	2,25 A	2,18 A
Pousio	2,66 A	2,54 A
Crotalária	3,01 A	2,53 A
Mucuna	2,68 A	2,44 A
Guandu	2,53 A	2,64 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

O maior conteúdo de água no solo sob semeadura convencional (0,10-0,20 m) no momento da coleta das amostras em relação à semeadura direta (Tabelas 13 e 14), também pode ter contribuído para uma menor resistência do solo à penetração. Silva et al. (1989) estudando o nível de compactação de um solo e suas flutuações medidas com penetrômetro de impacto e analisadas através da autocorrelação e da densidade espectral e com vários sistemas de preparo do solo, verificaram que o grau de compactação da área estudada tinha bastante

variabilidade, limitando o sucesso de experimentos visando à descompactação, sem considerar esses aspectos.

Para as camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, segundo Soil Survey Staff (1993), citado por Arshad et al. (1996), (Apêndice 1), os resultados verificados na semeadura direta foram classificados como altos e para a semeadura convencional foi moderada e alta.

Com relação às plantas de cobertura não foi verificada diferença significativa, podendo-se observar que os valores de resistência à penetração estão classificados, segundo Soil Survey Staff (1993), citadas por Arshad et al. (1996) como moderados e altos. O uso da sucessão de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, pode alterar as propriedades físicas do solo (Stone & Silveira, 2001), concordando com Nuerenberg et al. (1986), os quais afirmam que plantas que produzem raízes profundas, com crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados. Entretanto, esses resultados não foram verificados na área da presente pesquisa, pois a formação de camada compactada a diferentes profundidades, com uso e manejo do solo, é quantificada por valores maiores que 2,0 MPa, limite crítico sugerido por Tormena (1998) em um Latossolo Roxo, podendo influenciar o desenvolvimento das culturas, afirmações que são confirmadas por Alvarenga et al. (1995), os quais estudando a velocidade e a porcentagem de cobertura do solo proporcionadas por oito plantas de cobertura, verificaram que as crotalárias e o caupi mostraram-se as espécies mais sensíveis à compactação do solo, concentrando suas raízes mais à superfície.

Os valores de F para a umidade do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m constam na Tabela 13. Observa-se que houve significância para a camada de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m quando relacionado ao preparo do solo, porém, não houve influência para a camada de 0,20-0,40 m. As plantas de cobertura, bem como a interação entre preparo do solo e planta de cobertura não interferiram na umidade do solo em nenhuma camada avaliada.

Na Tabela 14, verifica-se que a semeadura convencional apresentou maior umidade do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, em relação a semeadura direta.

Porém, observa-se que a umidade do solo diminui na semeadura convencional, conforme aumenta a profundidade e, o contrário ocorre na semeadura direta.

Tabela 13: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo no momento da avaliação da resistência à penetração nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para teor de água do solo		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	11,86 *	12,74 *	5,77 ^{ns}
CV %	21,65	11,27	10,53
Planta de cobertura (PC)	0,65 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,88 ^{ns}
P*PC	0,97 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,45 ^{ns}
CV %	7,57	7,92	8,63
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Planta de cobertura (PC)	0,02	0,02	0,02
P*PC	0,02	0,02	0,02
PC*P	0,03	0,03	0,03

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Tabela 14. Valores médios de teor de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) durante a avaliação da resistência à penetração obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparos de solo	Teor de água do solo		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura convencional	0,20 A	0,18 A	0,18 A
Semeadura direta	0,15 B	0,16 B	0,19 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.1.4 Infiltração de água no solo

Na Tabela 15 constam os valores de F para a infiltração de água no solo nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m. Verifica-se que houve influência do preparo sobre a infiltração somente na profundidade de 0,10 m. As plantas de cobertura, assim como a interação preparo e plantas de cobertura, não interferiram na infiltração em todas as profundidades estudadas.

Tabela 15: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para infiltração de água no solo nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para infiltração de água		
	0,10 m	0,20 m	0,40 m
Preparo (P)	25,01 *	7,51 ^{ns}	5,30 ^{ns}
CV %	72,03	159,57	120,04
Planta de cobertura (PC)	0,58 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,43 ^{ns}
P*PC	1,1 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,79 ^{ns}
CV %	128,42	83,01	69,39
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	1,33	5,22	9,78
Planta de cobertura (PC)	2,67	3,06	6,37
P*PC	2,62	2,99	6,23
PC*P	3,78	4,32	9,00

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Os valores médios de infiltração de água no solo obtidos nos diferentes preparos constam na Tabela 16. Na profundidade de 0,10 m observa-se que houve diferença estatística entre os preparos, sendo a semeadura direta o preparo que promoveu menor infiltração de água, contrariando os resultados encontrados por Andrade et al. (2002).

Segundo Abrão et al. (1979) isso se deve à maior mobilização do solo na semeadura convencional, pois absorve a água mais rapidamente na camada mobilizada e mais lentamente nas profundas. Contudo, na semeadura direta existem canais formados pela decomposição das raízes e pela ação dos organismos do solo que mantêm uma velocidade de infiltração mais uniforme durante um tempo maior (ELTZ et al., 1989).

Algumas características do solo relacionadas com o transporte de água são afetadas pelo sistema de cultivo e são dinâmicas (DERPSCH, 1997; SCAPINI et al., 1998), sendo que na semeadura direta, a densidade da camada superficial do solo tende a aumentar, causando redução na porosidade total, devido à diminuição dos macroporos e aumento dos microporos, e dessa forma, os valores de infiltração de água, tendem a diminuir.

Tabela 16. Valores médios de infiltração de água no solo (mm h^{-1}) obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparos de solo	Infiltração de água		
	Profundidade (m)		
	0,10	0,20	0,40
Semeadura convencional	1,95 A	3,74 A	7,80 A
Semeadura direta	0,40 B	0,42 A	2,57 A
Plantas de cobertura			
Milheto	1,81 A	1,34 A	5,80 A
Pousio	1,36 A	1,51 A	3,73 A
Crotalária	0,52 A	2,68 A	6,25 A
Mucuna	1,05 A	3,57 A	4,81 A
Guandu	1,12 A	1,32 A	5,36 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Outro aspecto a ser considerado, segundo Ferreira et al. (2000) é o tempo de implantação da semeadura direta. Estes autores ao estudar a infiltração de água e a condutividade hidráulica saturada em solos sob semeadura direta, um a seis anos e outro a quatorze, com vários estados de compactação, verificaram que na área onde a semeadura direta está a mais tempo e com rotação de culturas, a infiltração de água foi quatro vezes maior em relação à área com menor tempo de implantação desse sistema, levando-se a inferir que os resultados encontrados na área em estudo são também, devido ao pouco tempo de implantação da semeadura direta, ou seja, cinco anos.

Nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, não houve diferença estatística para a infiltração de água entre os preparos do solo, concordando com Souza & Alves (2003), os quais estudando a influência de diferentes tipos de uso e manejo sobre as modificações do movimento de água de um Latossolo Vermelho de cerrado, não verificaram diferenças estatísticas entre a semeadura direta e convencional. Outra explicação para esse fato, provavelmente, é devido ao alto coeficiente de variação de 159,47 e 120,04 %, respectivamente, concordando com os resultados obtidos por Andrade (1997) e devido a variabilidade espacial do solo. Segundo Sharma & Luxmoore (1979), alguns estudos sobre variabilidade espacial das propriedades hidrodinâmicas do solo de parcelas agrícolas, indicaram que os solos, mesmo de aparência homogênea, apresentam considerável variabilidade, no espaço, das suas propriedades físicas.

Os valores de infiltração foram considerados muito lentos nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para ambos os preparos e na profundidade de 0,40 m para a semeadura convencional foi classificado como lento segundo classificação do Soil Survey Staff (1993). Um aspecto a ser considerado sobre a baixa permeabilidade da água nesse solo é o alto conteúdo de argila ao longo do perfil (Tabela 1), que varia de 400 a 484 g kg⁻¹, concordando com estudos realizados por Ferreira et al. (2000).

Ainda, verificou-se que não houve diferença estatística para a infiltração de água no solo entre as plantas de cobertura, o que pode ser atribuído ao alto coeficiente de variação, além da alta resistência mecânica à penetração aliada ao alto conteúdo de argila, dificultando assim, o crescimento de raízes e, possivelmente a infiltração de água no solo.

6.1.5 Condutividade hidráulica do solo saturado

Na Tabela 17 constam os valores de F para a condutividade hidráulica do solo saturado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m. Verifica-se que houve influência do preparo sobre a condutividade somente na profundidade de 0,10 m. A interação entre preparo do solo e plantas de cobertura, interferiu na condutividade hidráulica somente na profundidade de 0,40 m.

A condutividade hidráulica saturada (K_s) (Tabela 18), segundo limites propostos por Klute & Dirksen (1986), foi baixa em todas as profundidades estudadas, apresentando coeficiente de variação de 40,76, 133,21 e 131,35 % nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m, respectivamente, concordando com a grande variabilidade desta determinação obtida por outros autores (QUEIROZ, 1995; VAN ES et al., 1999). Provavelmente, devido aos altos valores de coeficiente de variação e a variabilidade do solo, a K_s não foi diferente estatisticamente entre os sistemas de preparo do solo nas profundidades de 0,20 e 0,40 m. Na profundidade de 0,10 m houve diferença estatística para a K_s entre os preparos do solo, sendo maior na semeadura convencional, provavelmente devido ao revolvimento do solo nessa camada durante o preparo levando a maior porosidade total do solo.

Tabela 17: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para condutividade hidráulica do solo saturado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para condutividade hidráulica		
	0,10 m	0,20 m	0,40 m
Preparo (P)	89,18 *	10,27 ^{ns}	4,00 ^{ns}
CV %	40,76	133,21	131,35
Planta de cobertura (PC)	0,78 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,36 ^{ns}
P*PC	0,96 ^{ns}	1,85 ^{ns}	3,60 *
CV %	123,03	105,65	90,50
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,92	4,97	7,54
Planta de cobertura (PC)	3,11	4,44	5,85
P*PC	3,05	4,34	5,72
PC*P	4,40	6,27	8,27

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Tabela 18: Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparos de solo	Condutividade hidráulica (mm h^{-1})		
	Profundidade (m)		
	0,10	0,20	0,40
Semeadura convencional	2,43 A	4,22 A	5,40 A
Semeadura direta	0,42 B	0,52 A	1,90 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 19 consta o desdobramento da interação entre preparo do solo e planta de cobertura para a condutividade hidráulica na profundidade de 0,40 m. Verifica-se que não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura dentro de cada preparo do solo, porém, observa-se que entre os preparos, a área onde foi cultivado o milho sob semeadura direta, promoveu menor condutividade hidráulica em relação ao convencional. Isso pode estar relacionado à variabilidade do solo, pois o efeito do preparo que atinge a camada mais superficial não chega às mais profundas. Além disso, as características do processo de movimentação tridimensional da água podem ser influenciadas pelas tubulações biológicas, ou seja, galerias de insetos, como formigas e cupins.

De forma geral, verifica-se que a semeadura direta obteve resultados semelhantes a convencional, devido, possivelmente à presença de macroporos verticais ao

longo do perfil resultantes da decomposição de raízes nesse sistema conservacionista. Abreu et al. (2000) estudando o efeito de sistemas de manejo em propriedades hídras do solo, observaram valores de condutividade hidráulica semelhantes para o solo sob semeadura direta cultivado com soja e cultivo mínimo cultivado com crotalária.

Tabela 19: Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e preparo do solo para condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) na profundidade de 0,40 m.

Plantas de cobertura	Condutividade hidráulica (mm h^{-1})	
	Semeadura direta	Semeadura convencional
Milheto	0,15 b A	9,77 a A
Pousio	2,25 a A	5,01 a A
Crotalária	1,31 a A	5,99 a A
Mucuna	0,73 a A	5,67 a A
Guandu	5,05 a A	0,58 a A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.1.6 Retenção de água

Na Tabela 20 constam os valores de F para o teor de água do solo na saturação, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Verifica-se que não houve influência das plantas de cobertura do solo, bem como da interação preparo e plantas de cobertura sobre o teor de água do solo na saturação, em nenhuma das camadas estudadas. Porém, verifica-se diferença estatística entre o preparo do solo na camada de 0,20-0,40 m.

Na camada de 0,20-0,40 m a umidade de saturação foi menor para a semeadura direta (Tabela 21), concordando com os resultados obtidos para a porosidade total. Porém, esse resultado pode estar relacionado à variabilidade do solo. Osuji (1984) estudando o armazenamento, o uso de água e a produção de plantas de milho em diferentes tipos de manejo em um solo da Nigéria, verificou diferença estatística para o conteúdo de água no solo na camada de 0,0-0,15 m, à tensão de zero bar, sendo a semeadura direta o manejo que promoveu maior conteúdo de água.

Tabela 20: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo na saturação nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para teor de água do solo na saturação		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	0,35 ^{ns}	3,9 ^{ns}	18,52 ^{**}
CV %	9,17	5,89	3,35
Planta de cobertura (PC)	0,19 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,15 ^{ns}
P*PC	2,34 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,82 ^{ns}
CV %	7,79	5,47	5,20
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Planta de cobertura (PC)	0,05	0,03	0,04
P*PC	0,05	0,03	0,03
PC*P	0,07	0,05	0,05

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Tabela 21: Valores médios de teor de água do solo na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Teor de água do solo na saturação		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,43 A	0,40 A	0,46 B
Semeadura convencional	0,43 A	0,41 A	0,48 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,42 A	0,39 A	0,48 A
Pousio	0,44 A	0,40 A	0,47 A
Crotalária	0,44 A	0,41 A	0,47 A
Mucuna	0,43 A	0,42 A	0,47 A
Guandu	0,43 A	0,41 A	0,47 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores de F para a retenção de água a 6 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m constam na Tabela 22.

Tabela 22: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo retida à tensão de 6 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para retenção de água à tensão de 6 kPa		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	0,09 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,76 ^{ns}
CV %	8,66	5,45	9,44
Planta de cobertura (PC)	1,52 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,74 ^{ns}
P*PC	1,65 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV %	9,89	6,16	10,58
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,03	0,02	0,03
Planta de cobertura (PC)	0,03	0,03	0,05
P*PC	0,05	0,03	0,05
PC*P	0,07	0,04	0,08

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Tabela 23: Valores médios de teor de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) retida à tensão de 6 kPa obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Retenção de água à tensão de 6 kPa		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,35 A	0,33 A	0,35 A
Semeadura convencional	0,35 A	0,33 A	0,34 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,35 A	0,33 A	0,36 A
Pousio	0,34 A	0,32 A	0,34 A
Crotalária	0,33 A	0,33 A	0,34 A
Mucuna	0,34 A	0,33 A	0,33 A
Guandu	0,37 A	0,33 A	0,35 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Verifica-se que em todas as camadas analisadas não houve diferença entre os preparos do solo, entre as plantas de cobertura, bem como para a interação preparo e planta de cobertura (Tabela 23), assim como foi verificado para a microporosidade.

Os valores de F para a retenção de água a 50 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m constam na Tabela 24. Verifica-se que em todas as camadas

analisadas não houve diferença entre os preparos do solo, entre as plantas de cobertura, bem como para a interação preparo e planta de cobertura.

Tabela 24: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo retida à tensão de 50 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para retenção de água à tensão de 50 kPa		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	2,42 ^{ns}	7,33 ^{ns}	4,22 ^{ns}
CV %	15,36	9,53	13,98
Planta de cobertura (PC)	0,71 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,69 ^{ns}
P*PC	0,15 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,72 ^{ns}
CV %	12,57	5,25	6,97
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,03	0,03
Planta de cobertura (PC)	0,05	0,02	0,02
P*PC	0,05	0,02	0,03
PC*P	0,07	0,02	0,07

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Na Tabela 25 observa-se os valores médios para tensão de água retida a 50 kPa, para os tratamentos estudados. Osuji (1984) estudando o armazenamento, o uso de água e a produção de plantas de milho em diferentes tipos de manejo em um solo da Nigéria, não verificou diferença estatística para o conteúdo de água no solo na camada de 0,0-0,15 m, à tensão de 60 kPa, entre a semeadura direta e a convencional.

Os valores de F mostram (Tabela 26) que houve diferença estatística, entre os preparos do solo somente na camada de 0,10-0,20 m, e que não houve diferença entre as plantas de cobertura, assim como para a interação preparo e planta de cobertura, para a retenção de água a tensão de 100 kPa.

Os valores médios de retenção de água no solo à tensão de 100 kPa para os preparos do solo e plantas de cobertura, constam na Tabela 27. Na camada de 0,20-0,40 m houve diferença entre os preparos, provavelmente devido à variabilidade do solo. Observa-se ainda que não ocorreram diferenças estatísticas entre os preparos do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,20-0,40 m bem como para as plantas de cobertura. Esses resultados

Tabela 25: Valores médios de teor de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) retida à tensão de 50 kPa obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Retenção de água à tensão de 50 kPa		
	Camada (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,28 A	0,28 A	0,27 A
Semeadura convencional	0,26 A	0,26 A	0,25 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,28 A	0,27 A	0,26 A
Pousio	0,26 A	0,27 A	0,24 A
Crotalária	0,27 A	0,27 A	0,26 A
Mucuna	0,28 A	0,27 A	0,26 A
Guandu	0,29 A	0,27 A	0,27 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

estão de acordo com os verificados por Osuji (1984), o qual não obteve diferenças entre a semeadura convencional e a semeadura direta ao estudar a retenção de água à tensão de 100 kPa. Urchei e Fietz (2002) estudando a disponibilidade água de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo verificaram que não houve diferença estatística para a retenção de água no solo à tensão de 100 kPa entre as semeaduras direta, convencional e a integração agricultura-pecuária.

Tabela 26: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo retida à tensão de 100 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para retenção de água à tensão de 100 kPa		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	6,9 ^{ns}	24,0 ^{**}	9,96 ^{ns}
CV %	15,82	7,10	11,36
Planta de cobertura (PC)	0,83 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,51 ^{ns}
P*PC	0,23 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,18 ^{ns}
CV %	12,77	5,27	7,29
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Planta de cobertura (PC)	0,04	0,02	0,02
P*PC	0,05	0,02	0,02
PC*P	0,07	0,03	0,04

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Tabela 27.: Valores médios de teor de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) retida à tensão de 100 kPa obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Retenção de água à tensão de 100 kPa		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,27 A	0,27 A	0,26 A
Semeadura convencional	0,24 A	0,24 B	0,23 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,26 A	0,25 A	0,25 A
Pousio	0,24 A	0,25 A	0,24 A
Crotalária	0,25 A	0,25 A	0,25 A
Mucuna	0,26 A	0,26 A	0,24 A
Guandu	0,27 A	0,25 A	0,26 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 28 constam os valores de F para a retenção de água do solo à tensão de 200 kPa nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, onde verifica-se que não houve diferença estatística para o preparo do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,20-0,40 m, plantas de cobertura, assim como para a interação preparo e planta de cobertura utilizada em nenhuma das camadas estudadas.

Tabela 28: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para teor de água do solo retida à tensão de 200 kPa nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para retenção de água à tensão de 200 kPa		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	4,19 ^{ns}	11,70 [*]	3,88 ^{ns}
CV %	16,25	7,47	12,36
Planta de cobertura (PC)	0,74 ^{ns}	1,02 ^{ns}	2,12 ^{ns}
P*PC	0,29 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,71 ^{ns}
CV %	12,88	4,77	7,15
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Planta de cobertura (PC)	0,04	0,02	0,03
P*PC	0,04	0,02	0,03
PC*P	0,07	0,02	0,03

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Da mesma forma que para a tensão de 100 kPa, a retenção de água à tensão de 200 kPa (Tabela 29), na camada de 0,20-0,40 m obteve diferença entre os preparos, provavelmente devido à variabilidade do solo.

Tabela 29: Valores médios de umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) retida à tensão de 200 kPa obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Retenção de água à tensão de 200 kPa		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	0,25 A	0,25 A	0,24 A
Semeadura convencional	0,23 A	0,23 B	0,23 A
Plantas de cobertura			
Milheto	0,24 A	0,23 A	0,23 A
Pousio	0,23A	0,24 A	0,22 A
Crotalária	0,23 A	0,24 A	0,24 A
Mucuna	0,25 A	0,25 A	0,23 A
Guandu	0,25 A	0,24 A	0,24 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Blevins et al. (1971), observaram que o solo sob semeadura direta de milho, apresentou maior teor de água por unidade de volume do que o solo sob semeadura convencional, sendo que as maiores diferenças ocorreram de 0,0 a 0,8 m.

Ao analisar os resultados de retenção de água no solo em todas as tensões estudadas, verificou-se que o solo em estudo apresenta baixos valores de água disponível em todos os sistemas avaliados, decorrente da pequena redução no conteúdo de água do solo quando o mesmo passou das tensões de 6 kPa para 200 kPa, concordando com Urchei e Fietz (2002). Segundo Menezes et al. (1992) essa talvez seja uma das características físico-hídricas mais limitantes dos Latossolos ao desenvolvimento das plantas, uma vez que a maioria das culturas apresentam redução significativa de produtividade quando a tensão de água no solo se encontra acima de 100 kPa.

Apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre os preparos nas tensões de 6 e 50 kPa, ocorrendo somente na camada de 0,20-0,40 m na umidade de saturação e na camada de 0,10-0,20 m nas tensões de 100 e 200 kPa, observa-se uma tendência da semeadura direta em promover maior retenção de água, provavelmente devido aos poros de

diâmetros menores. Pode-se inferir ainda que, a semeadura direta, devido à continuidade dos poros e melhor estruturação do solo, permite que as plantas aproveitem melhor a água contida no solo sob esse tipo de manejo.

Marques et al. (2002) estudando a relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois Latossolos, verificaram valores de umidade volumétrica relativamente altos em todos os potenciais mátricos avaliados, apresentando suave redução com o aumento da tensão, confirmando os resultados obtidos nesta pesquisa.

Segundo Hillel (1971), uma provável explicação para essa tendência pode estar relacionada com a maior proporção de microporos e menor de macroporos. Assim, os poros grandes perdem a água retida por capilaridade a potenciais menos negativos, enquanto os pequenos retêm água até potenciais mais negativos, adsorvida no sistema coloidal, ocasionando uma alta retenção quando existem em maior proporção.

Ainda, ao analisar-se todos os valores do coeficiente de variação, observa-se que estes, ora são classificados como de baixa variação (menores que 10 %) e ora classificados como de média variação (entre 10 e 50 %), segundo Gonçalves (1997).

Babalola (1977), pesquisando a variabilidade de propriedades físicas de solos tropicais da Nigéria, verificou que os coeficientes de variação das umidades contidas para todas as profundidades (até 1,35 m), foram incrementados quando as tensões de sucção aumentavam.

6.1.7 Monitoramento do teor e armazenamento de água no solo

A dispersão dos valores do potencial matricial constam nas Figuras 7 a 12.

Para a profundidade de 0,10 m na semeadura direta, observa-se que o potencial mátrico do solo variou de 0,1 a 65,0 kPa na área onde anteriormente ao milho, foi cultivado o milheto como planta de cobertura e, na área onde foi cultivada a crotalária, este variou de 10,0 a 83,0 kPa (Figura 7). Nesta mesma profundidade, porém, para a semeadura convencional, observou-se que o potencial mátrico variou de 0,8 a 79 kPa na área do milheto e de 0,3 a 83,0 kPa na área da crotalária (Figura 10)

Na Figura 8, observa-se que o potencial matricial do solo na profundidade de 0,20 m na semeadura direta, variou de 0,2 a 62,0 kPa no local onde estava o milho. anteriormente ao milho e, na área da crotalária este variou de 0,2 a 90,0 kPa. Já, na semeadura convencional para esta mesma profundidade o potencial mátrico variou de 0,7 a 42,0 kPa na área do milho e de 0,8 a 82,0 na área da crotalária (Figura 11)

Observando-se a Figura 9, verifica-se que o potencial mátrico do solo sob semeadura direta, na profundidade de 0,40 m, na área onde anteriormente ao milho foi cultivado o milho, variou de 0,3 a 48,0 kPa e, na área da crotalária variou de 0,5 a 81,0 kPa. Na semeadura convencional, nesta mesma profundidade, o potencial mátrico variou de 0,8 a 80,0 kPa na área do milho e de 15,0 a 65 kPa na área da crotalária (Figura 12).

Esses resultados mostram que, sob semeadura direta, o potencial matricial do solo foi menor na área onde anteriormente foi cultivado o milho em relação à área da crotalária, nas três profundidades de estudo. Esse resultado pode estar ligado à maior produção de matéria seca do milho (5.589 kg ha^{-1}) em relação a crotalária (2.998 kg ha^{-1}), contribuindo com uma maior cobertura do solo e conseqüentemente com uma menor perda de água por evaporação e escoamento superficial.

Na semeadura convencional do solo, verificou-se a mesma tendência do potencial mátrico de água no solo, em relação à semeadura direta na profundidade de 0,10 m e 0,20 m, ou seja, a área do milho promoveu menor potencial mátrico. Entretanto na profundidade de 0,40 m, houve menor potencial mátrico de água no solo na área onde foi cultivada a crotalária. Segundo Barley (1954), plantas de cobertura com sistema radicular de diâmetro maior, ao se decomporem, deixam canais que podem melhorar o movimento da água. Sendo a crotalária uma leguminosa com sistema radicular bastante agressivo e aliado ao revolvimento do solo na semeadura convencional, pode-se inferir que houve maior potencial mátrico na camada superficial, devido a maior infiltração inicial de água, e na profundidade de 0,40 m o menor potencial pode ser atribuído à matéria orgânica oriunda da decomposição de suas raízes, que de acordo com Miyasaka et al. (1983), atingem grandes profundidades. Indiretamente, tanto pela exsudação quanto após sua decomposição, as raízes fornecem materiais orgânicos estabilizantes e deposições de carbono abaixo da superfície, materiais estes de grande importância para a estrutura do solo (PERFECT et al., 1990) e, assim contribuindo para um menor potencial matricial de água no solo.

Além disso, esses resultados podem estar ligados ao pico máximo do potencial mátrico no dia 08 de fevereiro, que devido à falta de precipitação pluviométrica e problemas técnicos com o sistema de irrigação, não foi possível irrigar a área no momento adequado. Conseqüentemente, o potencial matricial de água no solo elevou-se, voltando a diminuir quando começou a chover a partir do dia 10 (26,4 mm) do mesmo mês (Apêndice 3).

Analisando todos os resultados, verifica-se ainda que, a semeadura direta proporcionou um conteúdo de água mais homogêneo no perfil do solo, ocorrendo o contrário com a semeadura convencional.

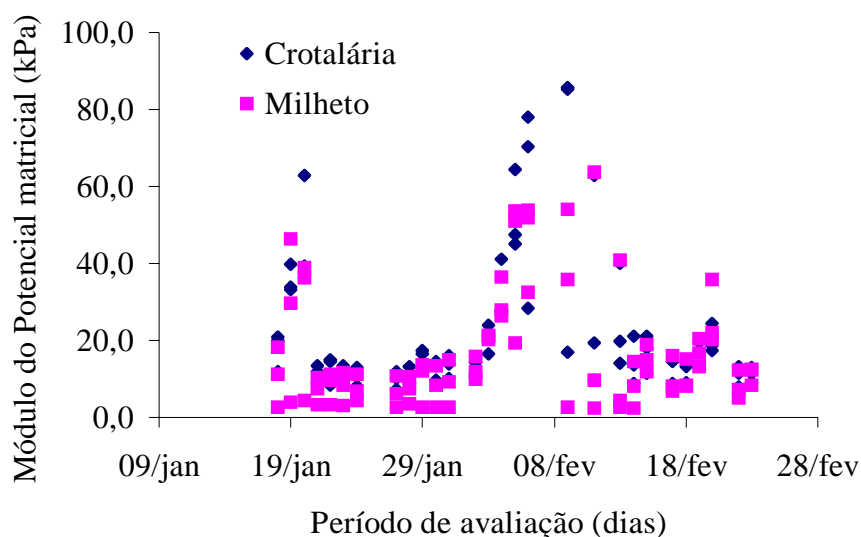


Figura 7: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura direta na profundidade de 0,10 m.

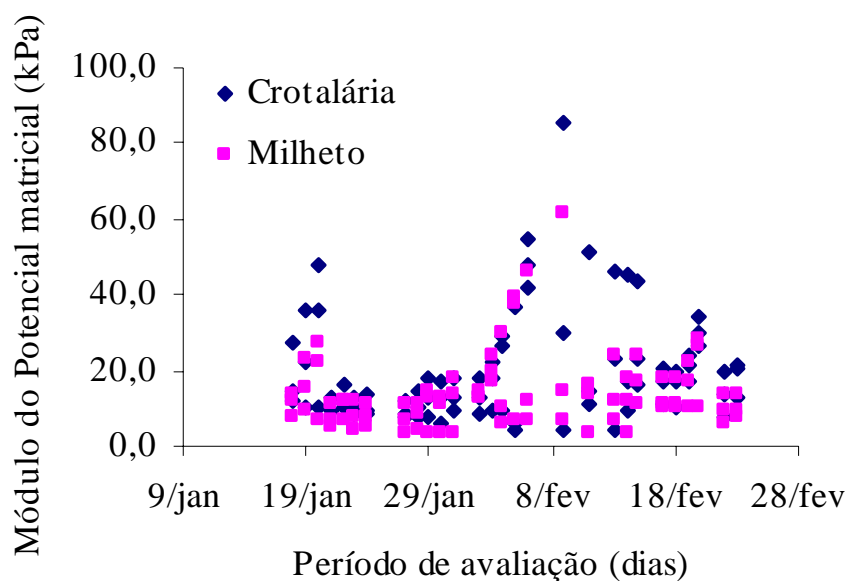


Figura 8: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura direta na profundidade de 0,20 m.

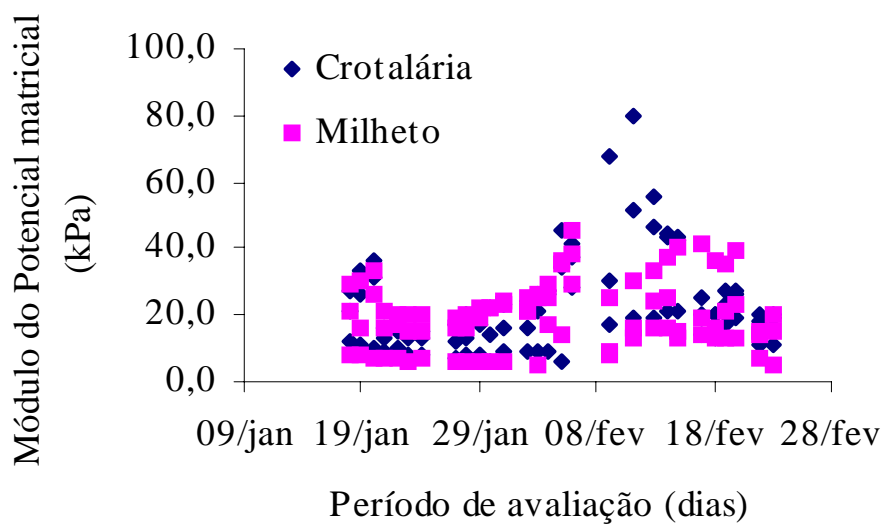


Figura 9: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura direta na profundidade de 0,40 m.

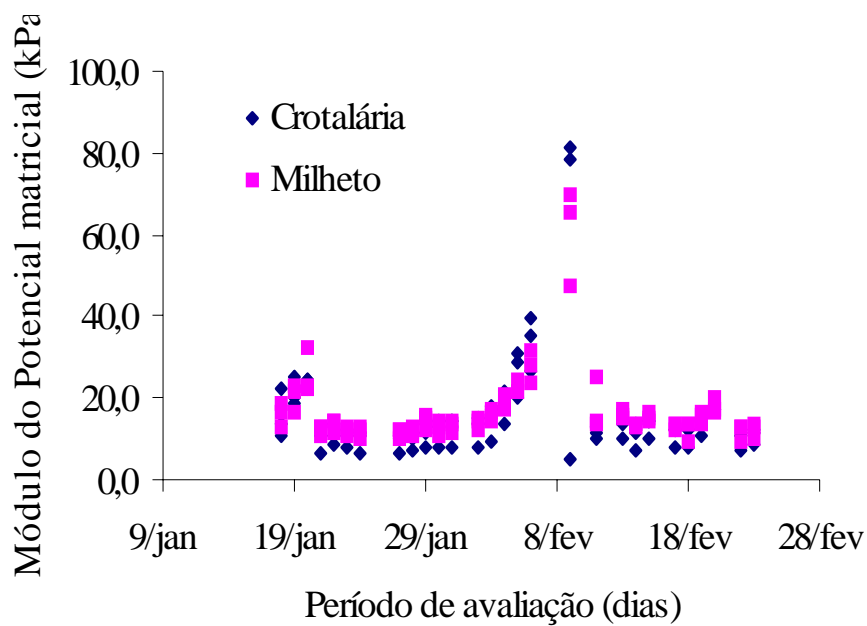


Figura 10: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura convencional na profundidade de 0,10 m.

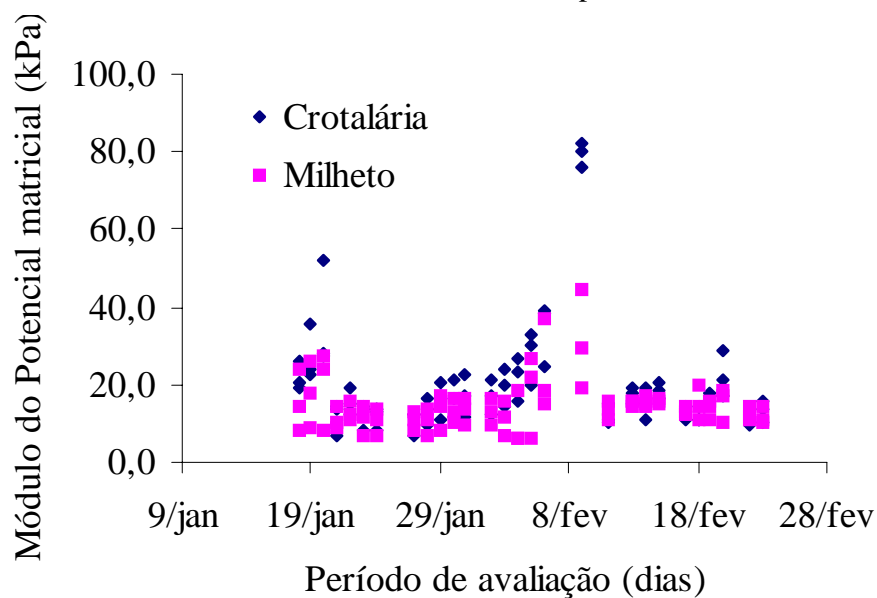


Figura 11: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura convencional na profundidade de 0,20 m.

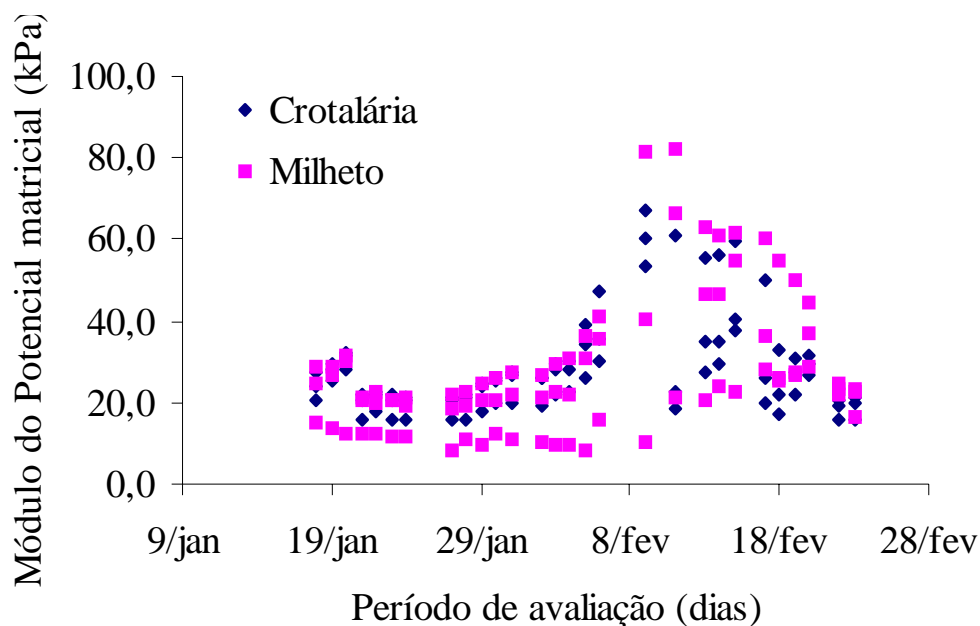


Figura 12: Dispersão dos valores de potencial matricial do solo (kPa) em função da planta de cobertura sob semeadura convencional na profundidade de 0,40 m.

Na Tabela 30 constam os valores de F para o armazenamento de água do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Verifica-se que não houve diferença estatística para o preparo do solo somente na camada de 0,20-0,40 m, e para planta de cobertura e interação preparo e planta de cobertura, não houve diferença em nenhuma das camadas de solo estudadas.

Observando-se os valores médios de armazenamento de água (água compreendida entre a tensão de 6 e 100 kPa) na Tabela 31, verifica-se que houve diferença estatística entre os sistemas de preparo do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo a semeadura convencional o preparo que promoveu maior armazenamento de água pelo solo, discordando dos resultados obtidos por Abrão et al. (1979), os quais trabalhando com seis sistemas de preparo do solo, não observaram diferenças significativas entre os tratamentos, quanto ao armazenamento de água. Oliveira (1997) estudando o efeito de cinco sistemas de preparo do solo na retenção e armazenamento de água durante as fases fenológicas da cultura do milho não verificou diferença estatística entre a semeadura direta, cultivo mínimo e plantio

convencional para o armazenamento de água. Zimmermann (2001) estudando as alterações no crescimento e no rendimento de plantas de milho relacionadas com as variações no armazenamento, disponibilidade e extração de água do solo em dois sistemas de cultivo, verificou que a semeadura direta e a semeadura convencional não diferiram quanto ao armazenamento e à disponibilidade de água no solo às plantas de milho. Lampurlanés et al. (2002) estudando os efeitos de manejos do solo no armazenamento de água durante o período de pousio em dois solos em La Segarra, região semi-árida da Espanha, verificaram que não houve diferença estatística para a eficiência de armazenamento de água entre a semeadura direta, cultivo mínimo e escarificador.

O maior armazenamento de água no solo promovido pela semeadura convencional pode estar relacionado à pulverização deste, devido à mobilização intensa, causando formação de agregados finos com capacidade de armazenar maior volume de água entre as tensões analisadas (6 e 100 kPa). Silva et al. (1986) observaram que à medida que se reduzia o diâmetro médio dos poros, ocorria aumento na retenção de água a 0,01 e 0,1 MPa, e um aumento da água disponível entre estas tensões.

Tabela 30: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para armazenamento de água nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para armazenamento de água		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	13,53 **	40,43 **	3,93 ^{ns}
CV %	34,79	17,53	31,97
Planta de cobertura (PC)	0,68 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,83 ^{ns}
P*PC	1,01 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV %	33,75	16,04	30,32
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	3,17	2,62	12,77
Planta de cobertura (PC)	4,50	3,51	17,74
P*PC	4,46	3,47	17,57
PC*P	6,37	4,96	25,09

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Tabela 31: Valores médios de armazenamento de água (mm) obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Armazenamento de água (mm)		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	7,23 B	12,23 B	35,72 A
Semeadura convencional	10,89 A	17,46 A	43,68 A
Plantas de cobertura			
Milheto	8,70 A	15,64 A	45,35 A
Pousio	9,84 A	13,54 A	41,98 A
Crotalária	8,26 A	15,05 A	36,68 A
Mucuna	8,32 A	14,40 A	36,23 A
Guandu	10,19 A	15,60 A	38,27 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.2 Plantas de cobertura

6.2.1 Matérias seca e verde

Os valores de F mostram (Tabela 32) que a produção de matéria verde das plantas de cobertura obteve interferência do tipo de preparo do solo, e que o tipo de planta de cobertura utilizada, influencia a produção de matéria verde e matéria seca. Ainda verifica-se que, a quantidade de matéria verde foi influenciada pela interação entre o preparo do solo e a planta de cobertura utilizada na sucessão.

Na Tabela 33 constam os valores médios de matéria seca e verde das plantas de cobertura do solo, onde verifica-se que houve diferença significativa entre os preparos do solo para a produção de matéria verde, porém, não houve diferença significativa para a produção de matéria seca, mostrando que o preparo do solo não interferiu na produção de matéria seca, porém, interferiu na produção de matéria verde. Ainda, verifica-se que houve diferença significativa para a massa de matéria seca e matéria verde das plantas de cobertura, sendo o milheto a planta que obteve maior massa para as duas variáveis, seguido do pousio, crotalária, mucuna e guandu.

Tabela 32: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para massa de matéria verde e matéria seca das plantas de cobertura do solo.

Causas da variação	Valores de F	
	Matéria verde	Matéria seca
Preparo (P)	16,43 *	0,524 ^{ns}
CV %	21,97	35,15
Planta de cobertura (PC)	92,5 **	87,95 **
P*PC	6,49 **	0,85 ^{ns}
CV %	21,82	19,06
DMS Tukey a 5 %		
Preparo (P)	2465,67	938,92
Planta de cobertura (PC)	3586,32	745,53
P*PC	3552,03	738,41
PC*P	5071,83	1054,35

n.s. não significativo; * significativo a 5 % ;** significativo a 1%

Tabela 33: Valores médios de massa de matéria seca e matéria verde (kg ha⁻¹) em função do preparo e das plantas de cobertura do solo.

	Matéria Seca	Matéria Verde
Preparos de solo		
semeadura convencional	2760 A	12723 A
Semeadura direta	2547 A	9583 B
Plantas de cobertura		
Milheto	5381 A	24814 A
Pousio	2483 B	11813 B
Crotalária	2833 B	9708 B
Mucuna	1371 C	5698 C
Guandu	1200 C	3731 C

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

O desdobramento da interação entre plantas de cobertura e preparo do solo encontra-se na Tabela 34. Com relação ao preparo do solo verifica-se que a quantidade de matéria verde para a área de milho obteve diferenças significativas entre os preparos, sendo a semeadura direta superior em relação ao preparo convencional, entretanto a quantidade de matéria seca para esta mesma área, não apresentou diferença estatística entre os preparos do solo. Ainda, pode-se verificar que a produção de matéria seca e matéria verde das plantas de cobertura, dentro de cada preparo do solo foi superior para o milho em relação aos demais

tratamentos. Esses resultados concordam com os resultados obtidos por Marques et al. (2002), os quais estudando as quantidades de nutrientes restituídos ao solo através de plantas de cobertura (milheto e aveia preta) e resíduos das culturas de soja e milho, em função da aplicação ou não de calcário na implantação do sistema de semeadura direta, verificaram que o milheto mostrou-se com capacidade de maior produção de matéria seca para cobertura do solo, em relação à aveia preta. Ainda Almeida (2001) trabalhando na mesma área onde realizou-se esta pesquisa, também verificou efeitos significativos entre plantas de cobertura sendo o milheto a espécie que apresentou maior produção de matéria seca e matéria verde comparada com os demais tratamentos.

Tabela 34: Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e preparo do solo para matéria seca e matéria verde (kg ha^{-1}).

Plantas de cobertura	Matéria Seca		Matéria Verde	
	Semeadura			
	direta	convencional	direta	convencional
Milheto	5589 a A	5172 a A	30248 a A	19381 b A
Pousio	2326 a B	2641 a B	12383 a B	11243 a B
Crotalária	2998 a B C	2669 a B	10036 a B C	9381 a B C
Mucuna	1628 a C D	1114 a C	6930 a C D	4467 a C D
Guandu	1261 a D	1138 a C	4019 a D	3443 a D

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

O guandu foi a planta que obteve menor produção, tanto para a quantidade de matéria seca quanto matéria verde, não diferindo estatisticamente apenas da mucuna. Ferreira (1996) avaliando diferentes leguminosas cultivadas no inverno no sul de Minas Gerais em dois sistemas de manejo e seus efeitos nos teores de nitrogênio no solo e nas características agronômicas de cultivares de milho, verificou que o guandu apresentou resultados inferiores de matéria seca e matéria verde quando comparado às outras leguminosas (crotalária, tremoço, feijão de porco e mucuna preta), concordando com os resultados obtidos nesta pesquisa. O manejo das plantas de cobertura foi realizado aos 85 dias após a semeadura, não sendo este período o suficiente para o satisfatório desenvolvimento do guandu. Segundo Almeida (2001), a menor produtividade do guandu pode ser atribuída ao curto período de

tempo entre a semeadura e o manejo (52 dias), visto que para o guandu seria necessário um período maior (140-180 dias) para que o mesmo expressasse todo seu potencial produtivo.

6.3 Cultura do milho

6.3.1 Rendimento de grãos

Os valores de F (Tabela 35) revelam que o rendimento de grãos de milho teve interferência do tipo de preparo do solo, entretanto o tipo de planta de cobertura utilizada não o influenciou, assim como a interação entre preparo do solo e planta de cobertura.

Tabela 35: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para rendimento de grãos de milho.

Causas da variação	Valores de F para rendimento de grãos
Preparo (P)	30,25 *
CV %	15,44
Planta de cobertura (PC)	1,46 ^{ns}
P*PC	0,73 ^{ns}
CV %	16,17
DMS Tukey a 5 %	
Preparo (P)	828,73
Planta de cobertura (PC)	1270,97
P*PC	1258,81
PC*P	1797,42

n.s. não significativo; * significativo a 5 % ;** significativo a 1%

Em relação ao rendimento de grãos de milho, verifica-se na Tabela 36 que houve diferença estatística entre a semeadura direta e convencional, sendo a semeadura direta, o preparo de solo que proporcionou maior produção de grãos. No ano agrícola de 1998/99 Carvalho (2000) observou que a produtividade do milho na semeadura convencional (4.800 kg ha⁻¹) foi maior que na semeadura direta (4.100 kg ha⁻¹), diferindo estatisticamente. Já, Almeida (2001) trabalhando nesta mesma área, não observou diferença entre os preparos quanto ao rendimento de grãos, sendo que a semeadura direta obteve 4.800 kg ha⁻¹ e a convencional, 4.200 kg ha⁻¹. Estes resultados são discordantes dos verificados neste trabalho,

demonstrando que após quatro anos a semeadura direta se igualou a semeadura convencional, e depois de cinco anos superou-a, levando-se a inferir que a semeadura direta está promovendo a melhoria do solo ao longo dos anos como era esperado. Segundo Wright et al. (1999); Gomez et al. (2002) McGarry et al. (2000) citados por Karunatilake & van Es (2002) a semeadura direta reduz a degradação estrutural do solo ou pode revertê-la, quando comparada à semeadura convencional e, depois de vários anos, geralmente mostra maior estabilidade de agregados, compostos mais estáveis e maior infiltração de água.

Verifica-se ainda que não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura no rendimento de grãos de milho. Todavia, observa-se que na sucessão à mucuna, o milho produziu 5.710 kg, ou seja, 844 kg a mais que na sucessão ao milheto (4.866 kg). Segundo Marques et al. (2002), o efeito negativo do milheto sobre a produtividade de grãos de milho deve estar ligado à imobilização microbiana de nitrogênio proporcionada pelos seus resíduos culturais com elevada relação C/N, evidenciando a importância da inclusão de leguminosas no sistema de produção de milho.

Tabela 36: Valores médios de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de milho em função do preparo do solo e das plantas de cobertura.

	Rendimento de grãos
Preparos de solo	
Semeadura direta	6048 A
Semeadura convencional	4616 B
Plantas de cobertura	
Mucuna	5710 A
Pousio	5635 A
Guandu	5411 A
Crotalária	5039 A
Milheto	4866 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.3.2 Matéria seca, massa de 100 grãos, número de plantas e altura das plantas de milho

Os valores de F mostram (Tabela 37) que para a quantidade de matéria seca e altura de plantas de milho não houve interferência do tipo de preparo do solo, assim

como do tipo de planta de cobertura e da interação preparo x planta de cobertura utilizada. Entretanto, para a massa de 100 grãos e número de plantas, houve interferência do preparo do solo, porém não ocorreu interferência da planta de cobertura e nem da interação preparo x planta de cobertura.

Tabela 37: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para matéria seca, massa de 100 grãos, número de plantas e altura de plantas de milho.

Causas da variação	Valores de F			
	Matéria seca	Massa de 100 grãos	Número de plantas	Altura de plantas
Preparo (P)	9,45 ^{ns}	13,66 [*]	93,34 ^{**}	0,13 ^{ns}
CV %	12,68	9,68	2,65	5,30
Planta de cobertura (PC)	0,39 ^{ns}	2,64 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,16 ^{ns}
P*C	0,76 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,03 ^{ns}
CV %	18,16	5,08	8,39	5,41
	DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	658,77	3,40	0,54	10,33
Planta de cobertura (PC)	1381,16	2,61	2,52	15,44
P*PC	1367,95	2,59	2,49	15,29
PC*P	1953,26	3,69	3,56	21,84

n.s. não significativo; * significativo a nível de 5 % ;** significativo a 1%

Na Tabela 38 verifica-se que tanto para massa de 100 grãos como para o número de plantas de milho a semeadura direta obteve valores maiores quando comparada à semeadura convencional, confirmando assim os resultados de maior produção na semeadura direta.

Tabela 38: Valores médios de matéria seca (kg ha^{-1}), massa de 100 grãos (g), número e altura de plantas (m) de milho em função do preparo de solo.

Preparos de solo	Massa de 100 grãos	Número de plantas
Semeadura direta	36,90 A	21 A
Semeadura convencional	32,95 B	19 B
Plantas de cobertura		
Guandu	35,25 A	21 A
Crotalária	35,25 A	19 A
Mucuna	35,37 A	20 A
Milheto	33,12 A	20 A
Pousio	35,62 A	21 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

6.3.3 Macronutrientes nas folhas de milho

Na Tabela 39 os valores de F mostram que para o teor de nitrogênio e teor de fósforo, houve interferência do tipo de preparo do solo, porém, a planta de cobertura assim como a interação preparo x planta de cobertura utilizada, não influenciaram nos teores desses macronutrientes. Para os demais macronutrientes (K, Ca, Mg e S) estudados não ocorreu interferência do preparo do solo, da planta de cobertura e nem da interação preparo x planta de cobertura.

Tabela 39: Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para macronutrientes nas folhas de milho.

Causas da variação	Valores de F					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Preparo (P)	864,0 *	18,78 *	0,22 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,0 ^{ns}
CV %	0,90	18,79	45,16	22,33	18,78	38,89
Planta de cobertura (PC)	0,75 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,54 ^{ns}
P*C	1,20 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,45 ^{ns}
CV %	5,52	13,53	23,07	11,41	17,25	32,24
DMS Tukey a 5 %						
Preparo (P)	0,26	0,48	4,40	1,57	0,54	0,45
Planta de cobertura (PC)	2,32	0,50	3,29	1,17	0,73	0,55
P*PC	2,30	0,50	3,26	1,16	0,72	0,54
PC*P	3,28	0,71	4,65	1,66	1,03	0,77

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Na Tabela 40 verifica-se que o teor de nitrogênio nas folhas de milho cultivado no solo sob semeadura direta foi maior em relação ao preparo convencional. Segundo Amado (2000), a redução na intensidade do preparo do solo se reflete no maior acúmulo de nitrogênio total no solo, principalmente nos sistemas de cultura com elevado aporte de nitrogênio como as leguminosas. Esses resultados estão em concordância com Aita et al. (2001), os quais estudando plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho sob semeadura direta, verificaram que no primeiro ano de avaliação, 57 % do nitrogênio presente inicialmente na fitomassa das leguminosas, foi liberado nos primeiros 30 dias após o manejo e, no segundo ano, 60 % do nitrogênio foi liberado, tendo conseqüências importantes no fornecimento deste nutriente à cultura em sucessão.

Tabela 40. Quantidades de nitrogênio (g kg^{-1}) e de fósforo (g kg^{-1}) nas folhas de milho em função do preparo do solo e de plantas de cobertura.

Preparos do solo	N	P
Semeadura direta	29,75 A	2,70 A
Semeadura convencional	27,35 B	2,26 B
Plantas de cobertura		
Guandu	29,12 A	2,54 A
Crotalária	28,37 A	2,60 A
Mucuna	28,87 A	2,46 A
Milheto	28,50 A	2,46 A
Pousio	27,87 A	2,33 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A avaliação do teor de macronutrientes foi feita aos noventa dias após plantio, quando principalmente a demanda em nitrogênio pelas culturas é elevada, confirmando assim, que as quantidades desses nutrientes liberados pelos resíduos culturais sob semeadura direta, foram satisfatórias, evidenciando a importância deste sistema e da palhada das plantas de cobertura do solo na melhoria do balanço de nitrogênio no solo.

Em relação ao teor de fósforo, verificou-se que no solo sob semeadura direta, houve maior quantidade desse nutriente nas folhas de milho. Carneiro (1999), estudando a influência de diferentes plantas de cobertura e da semeadura direta e semeadura convencional na dinâmica de alguns parâmetros biológicos associados ao ciclo do fósforo, verificou que a semeadura direta favoreceu a atividade da fosfatase e a ocorrência de

microrganismos solubilizadores de fosfato na camada superior do solo (0-0,05 m) em relação à semeadura convencional, sugerindo a maior disponibilidade desse nutriente às plantas.

Ao relacionar-se o teor de nitrogênio e fósforo nas folhas de milho com as plantas de cobertura que o antecedeu, observa-se que não houve diferença significativa.

Embora o teor de fósforo nas folhas de milho em sucessão às plantas de cobertura sejam consideradas adequadas, a literatura mostra que plantas de cobertura como a mucuna, guandu entre outras, reciclam baixa quantidade desse elemento. Borket et al. (2003), estudando nutrientes na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura do solo (aveia-preta, mucuna-preta, guandu, tremoço e ervilhaca), verificaram que essas espécies reciclaram baixas quantidades de fósforo.

Cabe ainda ressaltar, segundo Silva (1999), que o teor de nitrogênio e fósforo está de acordo com o nível recomendado, ou seja, entre 27 a 35 g kg⁻¹, 2 a 4 g kg⁻¹, respectivamente.

Ainda, ao relacionarmos o conteúdo de água no solo com a absorção de nutrientes, pode-se verificar que a semeadura direta em relação a convencional condiciona ao solo maior disponibilidade e armazenamento de água, devido ao maior conteúdo de matéria orgânica, interferindo nos mecanismos de movimentação e redistribuição de nutrientes com maior mobilidade no solo, como o nitrogênio, enxofre e potássio. Em relação ao fósforo, o maior teor de água na semeadura direta favorece a difusão desse nutriente até as raízes das plantas, aumentando sua absorção (COSTA, 2002).

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- a) os resultados indicaram que a melhoria das propriedades físicas do solo, após cinco anos com o manejo estudado, não ocorreram significativamente;
- b) as plantas de cobertura estudadas, após cinco anos, estão com comportamento semelhante quanto aos seus efeitos no solo e na produtividade do milho;
- c) considerando as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m nas tensões entre 6 e 100 kPa, o sistema de semeadura convencional obteve maior armazenamento de água no solo;
- d) apesar do sistema de semeadura convencional na camada de 0 - 0,20 m, nas tensões entre 6 e 100 kPa apresentar maior armazenamento de água, comparado ao sistema de semeadura direta, o mesmo foi menos eficiente em disponibilizar a água armazenada às plantas;
- e) o sistema de semeadura direta apresentou uma maior uniformidade de distribuição de água no perfil do solo;
- f) o sistema de semeadura direta, comparado ao convencional, foi mais eficiente em disponibilizar nitrogênio e fósforo à cultura do milho;
- g) sob sistema de semeadura direta, para o manejo do solo estudado, a cultura do milho obteve maior produtividade em relação à semeadura convencional.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R. et al. Efeitos dos sistemas de preparo periódico do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.3, p.169-172, 1979.

ABREU, S. L. de. et al. Propriedades hídricas afetadas por sistema de manejo de um Argissolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. **Resumos...** Ilhéus: Universidade Federal de Bahia, 2000. 1 CD-ROM.

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.157-165, 2001.

AITA, C.; S. J. GIACOMINI, S. J.; Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.601-612, 2003.

ALMEIDA, V. P. **Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado**. 2001. 71f. Dissertação (Mestrado

Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ALVARENGA, R. C. et al. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1985.

ALVES, M. C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeito nas propriedades físicas e químicas**. 1992. 173f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

AMADO, T. J. C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.105-111.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNABDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

ANDRADE, A. R. S. **Características físico-hídricas da estação experimental da EMBRAPA Algodão. Variabilidade espacial**. 1997. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <<http://www.deag.ufpb.br/~copeag/Pdfs/Resumos/Id/38.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2003.

ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; FREITAS, K. E. D. Impacto do manejo em alguns atributos e na dinâmica da água no solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24, 2002, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Multimídia Prox, 2002. 1 CD-ROM.

ANDREOLA, F. et al. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.867-874, 2000a.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.857-865, 2000b.

ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.139-145, 1994.

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

BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigéria. **Soil Science**, Baltimore, v.126, n.5, p.269-279, 1977.

BAEUMER, K.; BAKERMANS, W. A. P. Zero-tillage. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, p.77-125, 1973.

BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. **Soil Science**, Baltimore, v.78, n.1, p. 205-210, 1954.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. México: UTEHA, 1972. 527 p.

BLAKE, G. R. Bulk density. In: _____ **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.374-390.

BLEVINS, R. L. et al. Influence of no-tillage on soil moisture. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.1 , p.593-596, 1971.

BORKERT, C. M. et al. O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em cultura de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BROADEBENT, F. E.; NAKASHIMA, T. Mineralization of carbon and nitrogen in soil amended with carbon-13 and nitrogen-15 labeled plant material. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.38, n.2, p.313-315, 1974.

CALEGARI, A. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: Pta/Fase, 1993. p.1-55.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BASTOS, E. A. Componentes de rendimento e produtividade de grãos de híbridos e variedades de milho, sob irrigação, em solos de Tabuleiro costeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Resumos...** Cruz das Almas: Universidade Federal da Bahia, 2002. 1 CD-ROM.

CARNEIRO, R. G. **Dinâmica de parâmetros biológicos associados ao ciclo do fósforo em solo de cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999. 85f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

CARVALHO, J. M. **Estudo da retenção e do movimento de água em um Latossolo Vermelho – Escuro tratado com diferentes concentrações de hidróxido de sódio**. 1997. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

CARVALHO, M. A. C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS**. 2000. 189f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

CARVALHO, E. J. M.; SOUZA, F. M. de; COSTA, L. M. da Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, 1999.

COSTA, A. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: MORAES, M. H; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Coord.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. p.198-225.

COSTA, E. L. da. **Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para estudos de infiltração de água no solo**. 1996. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p. (California Agricultural Experimental Station Bulletin, 670).

DALMAGO, G. A. et al. Alterações na disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e convencional. Disponível em:

<<http://www.fepagro.rs.gov.br/milho2002/milho/MILHO-T01.PDF>>. Acesso em 09 out. 2003.

DEDECEK, R. A. Efeitos das perdas e deposição de camadas de solo na produtividade de um latossolo vermelho – escuro dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, n.3, p.323-328, 1987.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M., SOUZA DIAS, H. 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, n.3, p. 703-709, 1999.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p. 471-477, 1993.

DEMATTÊ, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, 1980. p.11-31.

DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M. LANDERS, J. N. (Ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: Serviço de Produção de Informações/EMBRAPA, 1997. p.29-48.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo. In: DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. (Ed.). **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)/Londrina: IAPAR, 1991. p.71-116.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.8, n. 1, p.253-263, 1986.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.259-267, 1989.

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

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

FAVERO, C.; JUCKSCH, I. Daninhas ou companheiras. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, p.26-27, 2000.

FERREIRA, A. M. **Efeitos de adubos verdes nos componentes de produção de diferentes cultivares de milho**. 1996. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, 2000. 66 p.

FERREIRA, F. P. Condutividade hidráulica saturada, infiltração de água e compactação do solo no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. **Resumos...** Ilhéus: Universidade Federal da Bahia, 2000, 1 CD-ROM.

FREIRE, W. J. **Influência do manejo sobre a agregação do solo**. 1972. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

GARCIA, R. N. et al. Efeitos dos adubos verdes e da adubação nitrogenada sobre o teor de clorofila e rendimento do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Multimídia Prox, 2002. 1 CD-ROM.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. 1997, 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. F. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.32, n.1, p.180-186, 1968.

HAAS, F. Plantio direto- fatores que interferem na eficiência a adubação. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM, ÊNFASE EM PLANTIO DIRETO, 3., 1997, Santa Maria. **Palestras...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997, p.125-131.

HAUCK, R. D. Epilogue. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p.782-787.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1971, 288 p.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970, 231 p.

KARUNATILAKE, U. P.; van ES, H. M. Rainfall and tillage effects on soil structure after alfalfa conversion to maize on a clay loam soil in New York. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.67, n.2, p. 135-146, 2002.

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

KITUR, B. K. et al. Tillage effects on growth and yields corn on Grantsburg soil. **Journal and Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.49, n. 3, p.266-274, 1994.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p.687-732.

LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, n.24, p.169-185, 1994.

LAMPURLANÉS, J.; ANGÁS, P.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p. 207-220, 2002.

LEANER, R. K.; SHAW, B. A simple apparatus for measuring noncapillary porosity in extensive scale, **Journal of American Society of Agronomy**, Washington, v.33, n.11, p.1003-1008, 1941.

MARCIANO, C. R. **Variabilidade das leituras de tensiômetros e Sonda de nêutrons em experimentos de manejo de irrigação**. 1995. 149f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MARQUES, J. D.; LIBARDI, P. L.; JONG VAN LIER, Q. Relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois Latossolos. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.567-577, 2002.

MARQUES, R. R. et al. Quantidades de nutrientes restituídos ao solo através de plantas de coberturas e resíduos das culturas de soja e milho, em função de presença ou ausência de calcário na implantação do sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DE SOLO, 7., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro.

Resumos... Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 1 CD-ROM.

MELLO FILHO, J. F.; SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produção de milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, n.2, p.291-297, 1993.

MENEZES, H. A. de; CORRÊA, N. I.; MOREIRA, J. A. A. Caracterização química, física e físico-hídrica de dois solos para fins de irrigação. Goiânia: Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária, 1992. p.19. (EMGOPA. Boletim de Pesquisa, 26).

MIYASAKA, S. et al. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 138 p.

NEGRO, S. R. L.; ALVES, M. C. Sistema radicular de leguminosas: produção de matéria seca e efeitos nas propriedades físicas do solo, na região de cerrado. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 11., 1999, Botucatu. **Resumos...** São Paulo: Reitoria da UNESP, 1999. p.198.

NEGRO, S. R. L. et al. Comportamento de leguminosas e seus efeitos no cultivo consorciado com milho para silagem, na região do cerrado em Selvíria (MS). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM.

NUERENBERG, N. J.; STAMMEL, J. G.; CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul-riograndense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p.185-190, 1986.

OLIVEIRA, P. M. de. **Efeitos de sistemas de preparo periódico do solo, na retenção e armazenamento de água, durante as fases fenológicas da cultura do milho (Zea Mays L.)**. 1997, 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

OSUJI, G. E. Water storage, water use and maize yield for tillage systems on a tropical alfisol in Nigéria. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.4, n.4, p.339-348, 1984.

PAIVA, J. B. D. de. **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão**. 1980. 333f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.

PAULA, M. B. et al. Efeito do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.66-70, 1998.

PAULETTO, E. A determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.13, p.189-195, 1988.

PERFECT, E. et al. Factors influencing soil structural stability within a growing season. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 54, n.1, p. 173-179, 1990.

PERRENS, S. J. Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation. **Journal Agricultural Engineering Research**, Cambridge, v.30, n.1, p.23-27, 1984.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. 1995. 167f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

RAIJ, B. van; et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1997. 170 p.

RAIJ, B. van; ZULLO, M. A. T. **Métodos de análise do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1977. 16 p. (Circular, 63).

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

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, n.4, p.292-302, 1985.

RIBEIRO, P. H. R.; SÁ, J. C.; MATTIONI, J. A. M. Comportamento de diferentes grupos cultivares de milho em sistema de plantio direto e plantio convencional em três níveis de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO NACIONAL E MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Multimídia Prox, 2002. 1 CD-ROM.

RIBON, A. A. **Propriedades físicas de um Latossolo e Podzólico cultivados com seringueira (*Hevea brasiliensis*) submetidos a práticas de manejos no planalto ocidental**. 2000. 121f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In: Black, C. A. **Methods of soil analysis I**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 128-151.

SASSAKI, N.; SILVA, M. M.; DOMINGUES, M. R.; ALVES, M. C. Adubação verde na recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro: Efeitos na macroporosidade e matéria orgânica. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 11., 1999, Botucatu, **Resumos...** São Paulo: Reitoria da UNESP, 1999. p.198.

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

SCAPINI, C. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R.; ZANETTE, A. Evolução da estabilidade estrutural de solo degradado por dois anos de preparo convencional e plantio direto contínuo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. Resumos... Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998. p.177-178.

SECCO, D. et al. Efeitos da compactação nos atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do trigo, em Latossolo Vermelho-Escuro sob sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. Resumos... Ilhéus: Universidade Federal da Bahia, 2000. 1 CD-ROM.

SHARMA, M. L.; LUXMOORE, R. J. Soil spatial variability and its consequences on simulated water balance. **Water Resources Research**, Washington, v.15, n.5, p.1567-1573, 1979.

SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, 1986.

SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.1-5, 1989.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370 p.

SILVA, J. R. C. et al. Efeitos da erosão na produtividade de dois solos da classe Latossolo Vermelho – Amarelo. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.16, n.1, p.55-63, 1985.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.253-260, 2001.

SIQUEIRA, N. S.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas e preparo e propriedades físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1., 1996, Ponta Grossa. **Resumos...** Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 1996. p.114-115.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture. Gov. Print. Office, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

SOUZA, Z. M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos**. 2000,126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

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, n.1, p.18-23, 2003.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. A irrigação no Plantio Direto. **Direto no Cerrado**, Brasília, n.8, p.5-6, 1998.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

SUZUKI, L. E. A. S. **Influência de adubos verdes na recuperação de propriedades físicas de um latossolo vermelho de cerrado**. 2002. 74f. Trabalho de Graduação (Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

TORMENA, C. A. **Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo**. 1998.106f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Disponibilidade de água de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico em diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Resumos...** Cruz das Almas: Universidade Federal da Bahia, 2002. 1 CD-ROM.

VALLE JR., R.F. **Efeito da aplicação de hidróxido de sódio sobre a disponibilidade real de água de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado**. 1995. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

VAN ES, H.M. et al. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.6, p.1599-1608, 1999.

VIEIRA, S. R.; REYNOLDS, W. D.; TOPP, G. C. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERANGA, P. J.; BACHELET, D. (Ed.). **Of flow and transport models for the unsaturated zone**. Las Cruces: Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, 1988. p. 471-483. (Research Report 88-SS-04).

VOMOCIL, J. A. Porosity. In : BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. cap. 21, p.299-314.

WHITE, R. E. The influence of macropores in the transport of dissolved and suspended matter through soil. **Advances in Soil Science**, New York, v.3, n.1, p.95-120, 1985.

WUTKE, E. B. et al. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-633, 2000.

ZIMMERMANN, F. L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. 2001. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

APÊNDICE

Apêndice 1: Classes de resistência do solo à penetração MPa.

Classe	Resistência à penetração
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
Baixa	0,1-1,0
Moderada	1,0-2,0
Alta	2,0-4,0
Muito alta	4,0-8,0
Extremamente alta	> 8,0

Adaptadas de Soil Survey Staff (1993), citadas por Arshad et al., (1996).

Apêndice 2: Classes de permeabilidade do solo à água (mm h^{-1}).

Classe	Permeabilidade
Rápida	> 254
Moderada a rápida	254 – 127
Moderada	127 – 63,5
Lenta a moderada	63,5 – 20
Lenta	20 – 5
Muito lenta	< 5

Adaptadas de Soil Survey Staff (1993)

Apêndice 3: Dados pluviométricos (mm) registrados durante a pesquisa.

Dias	2002				2003			
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
1	0,0	2,5	1,2	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	7,1	29,9	7,6	0,0	0,0
3	0,0	30,4	12,7	4,8	7,8	0,0	0,0	6,2
4	0,0	0,0	2,0	0,0	26,4	0,0	0,0	11,8
5	0,0	0,0	1,7	0,0	2,3	1,7	0,0	0,0
6	8,3	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	10,41	0,0
9	0,0	0,0	0,0	9,1	10,4	0,0	0,25	32
10	0,0	0,7	38,6	0,0	0,0	26,4	3,81	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	2,7	25,91	0,0
12	0,0	0,0	6,8	0,0	8,3	0,2	12,70	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	10,1	0,51	0,0
14	0,0	0,0	4,3	0,0	16,2	0,0	0,0	0,0
15	14,2	0,0	0,0	1,0	0,2	12,4	0,0	0,0
16	3,8	0,0	0,0	0,5	9,1	3,3	0,0	0,0
17	18	0,0	0,0	0,0	9,1	6,6	0,0	0,0
18	0,0	0,0	7,3	0,0	25,4	0,0	13,46	0,0
19	0,0	0,0	0,0	26,4	4,5	0,0	0,25	0,0
20	0,0	0,0	0,0	1,9	59,4	0,3	0,0	0,0
21	2,7	0,0	0,0	2,0	2,0	44,1	25,15	29
22	1,7	0,0	0,0	1,2	34,2	17,7	0,0	0,0
23	16,7	0,0	0,0	6,3	56,6	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	2,7	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
25	0,0	0,0	1,2	0,0	11,4	0,0	1,0	0,0
26	0,0	0,0	25	0,0	12,7	0,0	38,10	0,0
27	0,0	8,1	0,0	0,0	5,3	0,0	5,50	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
29	0,0	2,7	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0
30	0,0	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
Média diária	2,2	1,8	3,4	2,2	11,7	4,8	4,4	2,6