

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM
SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO
SOB SEMEADURA DIRETA**

José Marcos Garrido Beraldo
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM
SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO
SOB SEMEADURA DIRETA**

José Marcos Garrido Beraldo

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Co-Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2011

B482a Beraldo, José Marcos Garrido
Armazenamento de água no solo em sequências de culturas de
verão e inverno sob semeadura direta / José Marcos Garrido Beraldo.
-- Jaboticabal, 2011
xi, 115 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: José Eduardo Corá
Co-Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: Antonio Evaldo Klar, Vilson Antonio Klein,
Maria Helena Moraes, José Renato Zanini
Bibliografia

1. Rotação de culturas. 2. Porosidade do solo. 3. Plantio direto. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.423.2:631.582

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA

AUTOR: JOSÉ MARCOS GARRIDO BERALDO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ANTONIO EVALDO KLAR

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Prof. Dr. VILSON ANTONIO KLEIN

Departamento de Agronomia / Universidade de Passo Fundo / Passo Fundo/RS

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

Departamento de Recursos Naturais / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Prof. Dr. JOSE RENATO ZANINI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 20 de janeiro de 2011.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ MARCOS GARRIDO BERALDO – nascido em São Carlos, SP, no dia 26 de abril de 1977, é Engenheiro Agrônomo graduado pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias / UNESP – Câmpus de Jaboticabal com título obtido em janeiro de 2002. Durante a colação de grau da LI Turma de Engenheiros Agrônomos, recebeu o “Prêmio Agronomia” atribuído ao melhor trabalho de graduação do curso de Agronomia, considerando seu alto valor científico. Iniciou em março de 2002 o curso de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) ao nível de Mestrado na mesma Universidade, onde foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foi Vice-Presidente da Associação de Alunos da Pós Graduação (APG) da FCAV/UNESP na gestão 2002/2003. No dia 30 de junho de 2004, submeteu-se à banca examinadora para a defesa da Dissertação de mestrado e obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal). De outubro de 2004 a maio de 2005 atuou como Engenheiro Agrônomo na Cooperativa de Trabalho dos Profissionais de Agricultura, situada no município de Ribeirão Preto, SP. Em junho de 2005 foi contratado pela Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba / Unidade de Jaboticabal, SP no cargo de Engenheiro Agrônomo, permanecendo até maio de 2006. Em junho de 2006 submeteu-se ao processo seletivo do Instituto Agrônomo do Paraná / IAPAR, sendo aprovado na função de pesquisador, lotado na área de Solos da Estação Experimental de Paranavaí, PR, permanecendo até setembro de 2007. Iniciou em março de 2007 o curso de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) ao nível de Doutorado pela FCAV / UNESP – Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista da CAPES. Em agosto de 2010 foi aprovado em concurso público de provas e títulos para a carreira de docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / IFSP - Câmpus Avançado de Matão. No dia 20 de janeiro de 2011 submeteu-se à banca examinadora para a defesa de Tese de Doutorado, obtendo o título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

*“Eu posso prever o caminho de
corpos celestiais, mas não posso
dizer nada a respeito do movimento
de uma pequena gota de água”*

Galileo Galilei

Dedico

À meu avô,

José Garrido (*in memoriam*), um agricultor, que diante dos seus olhos viu um evento climático dizimar sua lavoura, porém, não desistiu de lutar.

Ofereço

À minha família,

Oswaldo Beraldo (*in memoriam*) e Aparecida Marlene Garrido Beraldo por todo carinho, amor e educação que me ofereceram e em especial a minha esposa Tania por me entender e apoiar.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, o Grande Arquiteto do Universo, por iluminar com suas luzes o meu caminho;

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pela infraestrutura necessária para realização deste trabalho, pela minha formação acadêmica e oportunidade para o meu crescimento intelectual;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida;

Ao Prof. Dr. José Eduardo Corá, agradeço pela orientação e pelos ensinamentos ao longo da minha formação;

À Profa. Dra. Carolina Fernandes, pela co-orientação e sugestões deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Edemo João Fernandes, pela orientação e apoio na elaboração da Tese;

Ao Prof. Dr. Jairo Augusto Campos de Araújo pelos sábios ensinamentos, pela paciência e conduta como ser humano, te agradeço por tudo;

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves e Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho pelo apoio;

Ao Departamento de Solos e Adubos e Engenharia Rural, que me ofereceram os recursos necessários para elaboração da presente Tese;

Aos servidores do Departamento de Solos e Adubos: Célia, Maria Inês, Luis, Ademir, Gomes, Mauro, Claudia, Dejair, Anderson e do Departamento de Engenharia Rural: Miriam, Davi, João, Donizeti, Carlos, Luís Claudio, Ronaldo, Ailton, pelo apoio;

Ao Sr. Marcelo Scatolin pelo seu profissionalismo e exemplo de conduta no serviço público e aos servidores da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da FCAV, Afonso, Ferrari, Reinaldo, Gilberto, Fran, Claudinei, Juventino e João, pelo auxílio necessário a execução dos trabalhos de campo;

Ao pesquisador Dr. Paulo Estevão Cruvinel da Embrapa Instrumentação Agropecuária pela oportunidade da realização do estágio na área de tomografia computadorizada;

Aos servidores da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca da FCAV/UNESP em especial agradecimento a Adriana, Neli e Mabel pela paciência e ajuda.

Ao orientado Flavio e estagiário Thiago pelo auxílio na condução do experimento;

Aos colegas Adolfo, Ricardo, Marcos, Márcio, Edivaldo, Renato, Xavier, Daniel pela convivência e amizade;

À minha família, Mãe, meus irmãos Isabel e Dado e meu sobrinho Victor, que são o alicerce de minha vida, pelo apoio e incentivo;

A Dona Sonia e seu Edelcio pela ajuda nos momentos importantes que precisamos;

À minha querida esposa Tania, pelo apoio e compreensão nos momentos de minha ausência e que me encorajou a concluir esta etapa da minha vida, o último e o mais alto grau acadêmico.

Esta TESE é o resultado de dedicação, paciência, perseverança, ciência e principalmente de trabalho. Obrigado a todos que acreditaram, torceram e contribuíram direta ou indiretamente para sua construção.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	01
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
1.1 Armazenamento de água no solo.....	04
1.2 Determinação do conteúdo de água no solo.....	10
CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE LEITURA DO POTENCIAL MÁTRICO DA ÁGUA NO SOLO E AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO.....	13
2.1 Introdução	14
2.2 Material e Métodos	16
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	16
2.2.2 Implantação e condução do experimento.....	17
2.2.3 Avaliações.....	18
2.2.3.1 Determinação do potencial mátrico da água no solo.....	18
2.2.3.2 Determinação da curva de retenção de água no solo.....	21
2.2.3.3 Determinação da umidade do solo por meio da moderação de nêutrons.....	23
2.2.4 Análise dos dados.....	24
2.3 Resultados e Discussão	25
2.4 Conclusões	36
CAPÍTULO 3 – ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA.....	37
3.1 Introdução	38
3.2 Material e Métodos	41
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	41
3.2.2 Delineamento experimental.....	42
3.2.3 Implantação e condução do experimento.....	43
3.2.3.1 Culturas de verão.....	45
3.2.3.2 Culturas de inverno.....	46

3.2.4 Avaliações.....	47
3.2.4.1 Determinação do potencial mátrico da água no solo.....	47
3.2.4.2 Determinação da curva de retenção de água no solo.....	48
3.2.4.3 Cálculo do armazenamento de água no solo	49
3.2.4.4 Quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo.....	50
3.2.4.5 Quantificação da lâmina de água proveniente de chuvas.....	50
3.2.5 Análise dos dados.....	51
3.3 Resultados e Discussão	51
3.3.1 Armazenamento de água no solo no período de janeiro a março de 2009.....	51
3.3.2 Quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo.....	59
3.3.3 Armazenamento de água no solo no período de março a maio de 2009.....	61
3.4 Conclusões	72
CAPÍTULO 4 – ATRIBUTOS FÍSICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA.....	73
4.1 Introdução	74
4.2 Material e Métodos	76
4.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	76
4.2.2 Avaliações.....	78
4.2.2.1 Densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade.....	78
4.2.2.2 Matéria orgânica do solo	78
4.2.2.3 Distribuição de poros por tamanho.....	79
4.2.2.4 Infiltração de água no solo	79
4.2.3 Análise dos dados.....	81
4.3 Resultados e Discussão	82
4.3.1 Densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade e matéria orgânica.....	82
4.3.2 Distribuição de poros por tamanho.....	85
4.3.3 Infiltração de água no solo	93
4.4 Conclusões	96
5. REFERÊNCIAS	97

ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA

RESUMO – O sistema de semeadura direta (SSD) proporciona melhores condições físicas do solo favorecendo o armazenamento de água no solo (ARM). A hipótese do trabalho foi que o Latossolo Vermelho argiloso, em sequências de culturas de verão e inverno sob SSD afeta o ARM em decorrência da modificação nos atributos físicos do solo e que o tensiômetro de punção digital (TDig) pode ser usado para medir o potencial mátrico da água no solo. Os objetivos foram avaliar o ARM e os atributos físicos do solo em sequências de culturas de verão e de inverno sob SSD e medir o potencial mátrico da água no solo por meio do tensiômetro de mercúrio e do TDig. O delineamento foi em blocos, com três repetições, no esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos por três sequências de culturas de verão (rotação soja/milho e monocultura de milho e soja) e sete culturas de inverno (milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária). Foram instalados tensiômetros nas camadas de 0,2; 0,4 e 0,6 m. Foi determinada a densidade do solo, a distribuição de poros por tamanho nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m e a infiltração de água na superfície do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey. O TDig pode ser usado para avaliar o potencial mátrico da água no solo. O ARM não diferiu entre as sequências de culturas de verão e nas culturas de inverno houve diferença, principalmente após período de menor disponibilidade hídrica. A densidade e a porosidade do solo não foram influenciadas pelas culturas de verão e inverno. O diâmetro de poros entre 0,075 - 0,05 e 0,03 - 0,0375 mm na camada de 0,0-0,1 m diferiu entre as sequências de verão. A distribuição de poros por tamanho não foi influenciada pelas sequências de culturas de inverno. A maior infiltração de água no solo ocorreu na parcela sob monocultura de soja.

Palavras-Chave: rotação de culturas, plantas de cobertura, plantio direto, tensiômetro, porosidade do solo, diâmetro de poros.

SOIL WATER STORAGE IN SUMMER AND WINTER CROP SEQUENCES UNDER NO TILLAGE SYSTEM

SUMMARY - No tillage system provides soil physical properties improvements, and soil water storage. The hypothesis of this study was that a Red Latosol (Oxisol), in summer and winter crops sequences under no-tillage system, can have its soil water storage influenced by changes in soil physical properties and digital tensiometer can be used to measure soil water matric potential. This study aimed to measure the soil matric potential using both mercury and digital tensiometers and to evaluate the soil water storage and physical properties on summer and winter crops sequences under no-tillage system. A completely randomized block was designed with three replications on a strips plan. The treatments were the combination of three summer crops sequences (soybean/maize rotation, corn and soybean monocultures) and seven winter crops (maize, sunflower, oilseed radish, millet, pigeon pea, sorghum and sunn hemp). Tensiometers were installed at a depth of 0.20; 0.40; 0.60 meters. Bulk density and pores distribution curves were determined from layers 0-0.1 and 0.1-0.2 depth and water infiltration at the soil surface. The data were submitted to variance analysis and means were compared by the Tukey test. The hypothesis was confirmed, therefore digital tensiometer can be used to measure soil water matric potential. The results showed no difference regarding soil water storage in summer crops sequences, especially after a period associated with lower water availability. Soil porosity and bulk density were not influenced by summer and winter crops sequences. The results indicated that the pores with diameter between 0,075 - 0,05 e 0,03 - 0,0375 mm from layer 0-0.1 m differed on summer crops sequences. No difference was observed by pores distribution curves between summer and winter crops sequences. The largest water infiltration occurred under the soybean monocultures plot.

Keywords: crop rotation, cover crops, conservation tillage, tensiometer, soil porosity, pore size distribution.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O crescimento das plantas depende da presença de água em época e quantidades apropriadas. Períodos de excesso e déficit de água são frequentes durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, o que pode ser limitante à produção, determinando, em muitos casos, a sua diminuição.

O conhecimento do balanço hídrico permite acompanhar a evolução do armazenamento da água no solo e, assim, estabelecer adequado manejo do solo visando à conservação do solo e da água e o aumento da produção agrícola.

Para assegurar suprimento de água as plantas é necessário que em períodos de excesso essa água esteja armazenada no solo para ser aproveitada pelas plantas em períodos de déficit hídrico.

Entretanto, o armazenamento e retenção de água pelo solo não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água às plantas, uma vez que o conceito atual de disponibilidade de água esta relacionado a fatores intrínsecos do solo como condutividade hidráulica, difusidade, umidade e potencial mátrico, teor de matéria orgânica, estrutura, porosidade; da planta, como densidade e atividade do sistema radicular, área foliar, arquitetura da planta, número de estômatos, estágio vegetativo, sanidade da planta e cobertura proporcionada pelos resíduos vegetais e; da atmosfera como radiação, déficit de saturação, temperatura da superfície do solo e vento.

As práticas de manejo de solo devem incrementar o aumento do armazenamento de água no solo de maneira a reduzir as perdas de água e de solo por escoamento superficial e pela evaporação.

Nesse sentido, o sistema de semeadura direta (SSD) é considerado um sistema conservacionista de grande importância na produção agrícola. Partindo da premissa do não revolvimento do solo, aliado a manutenção permanente de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, o sistema proporciona diminuir os riscos de erosão e aumentar a agregação das partículas do solo possibilitando maior infiltração e menor evaporação

da água no solo, promovendo efeitos benéficos na fertilidade do solo por meio da reciclagem de nutrientes e do aumento dos teores de carbono orgânico.

A constante adição de resíduos sobre a superfície do solo no SSD melhora a estabilidade estrutural do solo, reduz a formação de adensamento superficial e compactação, aumenta a infiltração e percolação de água e a capacidade de armazenamento de água no solo.

A maioria dos trabalhos na literatura indica para um maior armazenamento de água no solo em solo sob SSD em relação ao sistema de semeadura convencional (SSC), no qual consiste no revolvimento periódico do solo (DERPSCH et al., 1991; GONZÁLES & ALVES, 2005; FABRIZZI et al., 2005).

Os efeitos benéficos do SSD são verificados primeiramente em camadas mais próximas à superfície do solo (SILVA et al., 2006). Normalmente estes benefícios são atribuídos à barreira formada pelos resíduos vegetais (palha) que reduzem a evaporação da água na superfície do solo (STONE & MOREIRA, 2000).

Na literatura vários trabalhos mostram os efeitos benéficos do SSD (DERPSCH & CALEGARI, 1992; COLOZZI-FILHO & ANDRADE, 2006; AMADO et al. 2006), no entanto, são poucos os trabalhos que avaliam as condições físico-hídricas deste sistema.

Para emprego do SSD há necessidade do conhecimento e definição das espécies para cobertura, as quais devem ter boa produção de biomassa e serem suficientemente persistentes, de modo que proporcionem a proteção física do solo nos períodos de excesso ou escassez de água, resultando em benefícios para a cultura posterior.

As diferenças observadas na literatura entre o armazenamento de água no solo sob SSD e o SSC são evidentes, porém, é necessário conhecer quais sequências de culturas proporcionam maior armazenamento de água no solo, principalmente, em situações de menor disponibilidade hídrica.

Sob condições de clima tropical um dos principais problemas verificados é a manutenção da cobertura do solo na entressafra em decorrência das elevadas temperaturas e menor disponibilidade de água. Assim, em regiões onde ocorrem

períodos críticos de deficiência hídrica, se torna imprescindível minimizar a perda de água no solo, de modo que o armazenamento de água ocorra por maior período de tempo.

Desta forma, o SSD associado com diferentes sequências de culturas de verão e inverno pode influenciar o armazenamento de água no solo pela presença de resíduos vegetais na superfície e na alteração dos atributos físicos do solo.

A presente tese está dividida em três capítulos para testar as seguintes hipóteses: (i) a tensiometria é uma técnica útil para avaliar a umidade do solo e o tensiômetro de punção e leitura digital pode ser usado para medir o potencial mátrico da água no solo; (ii) A sequência de culturas de verão e de inverno sob semeadura direta afeta o armazenamento de água no solo em decorrência da modificação nos atributos físicos do solo.

Diante do exposto, os objetivos foram: (i) medir o potencial mátrico da água no solo, utilizando o tensiômetro de mercúrio e o tensiômetro de punção e leitura digital e comparar os resultados de umidade do solo, determinados por tensiometria, com aqueles determinados utilizando-se a técnica da moderação de nêutrons; (ii) avaliar o armazenamento de água no solo e os atributos físicos do solo relacionados à relação ar/água do solo em sequências de culturas de verão e de inverno sob semeadura direta.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Armazenamento de água no solo

O solo é a camada mais superficial da crosta terrestre, e que suporta toda a vida terrestre, podendo ser considerado como um reservatório, pois a água que atinge sua superfície pode infiltrar, permanecer na superfície ou ser perdida por escoamento superficial.

Segundo ALLEY et al. (2002), 97,2% da água do mundo está nos oceanos e mares, apenas 2,8% é água doce, dos quais 0,6% estão armazenadas nas águas subterrâneas e menos de 0,1% está armazenada no solo.

O armazenamento de água no solo se refere ao volume de água contido num determinado volume de solo. Assim, quanto menor for o volume de solo, menor será o volume de água armazenada.

Para um manejo adequado da irrigação é necessário conhecer a quantidade de água armazenada no perfil do solo em um dado instante, assim é possível definir a quantidade da lâmina a ser aplicada e o intervalo de tempo para a próxima irrigação. Já, para a agricultura não irrigada o conhecimento do armazenamento de água no solo é importante no planejamento adequado da atividade agrícola, principalmente na definição da época de semeadura mais adequada.

A quantidade de água armazenada pelo solo é representada por sua umidade (REICHARDT, 1990). A umidade do solo pode ser expressa relacionando a massa de água com a massa de sólidos obtendo assim a umidade gravimétrica ou relacionando o volume de água contido em um determinado volume de solo, denominada de umidade volumétrica.

O armazenamento de água no solo varia em função da quantidade de água que entra no perfil do solo e dos fatores que contribuem para que esta permaneça armazenada (GONZÁLEZ & ALVES, 2005). Dentre esses fatores a condição da superfície do solo irá regular a sua variação no solo.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo diminui as perdas de água por evaporação e a amplitude térmica no solo, propiciando a manutenção da umidade do solo por maior período de tempo (FABRIZZI et al., 2005).

A cobertura do solo proporciona: diminuir o impacto das gotas de chuva e reduz as perdas de solo e água por erosão (BERTONI, & LOMBARDI NETO, 1985); auxilia no controle de plantas daninhas (PEREIRA & VELINI, 2003); recicla nutrientes (PAVAN et al., 1986); aumenta a taxa de infiltração de água no solo (GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004); diminui o escoamento superficial (WAGGER & DENTON, 1992; SU et al. 2007); diminui a variação de temperatura do solo, favorecendo os microrganismos; mantém por mais tempo a umidade do solo por reduzir a evaporação (CALEGARI, 2004), minimizando efeitos adversos decorrentes do déficit hídrico (SIDIRAS et al., 1983; DERPSCH et al., 1991).

Nesse sentido, o sistema de semeadura direta (SSD) tem grande importância na manutenção do armazenamento de água no solo, pois tem como fundamento o não revolvimento periódico do solo aliado à manutenção permanente de resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

O emprego do SSD implica no conhecimento e na definição das espécies para cobertura, as quais devem ter boa produção de biomassa e ser suficientemente persistentes, de modo que proporcione a proteção física do solo em períodos de excesso ou escassez de água, resultando em benefícios para a cultura posterior.

No SSD, parte da cobertura do solo é proveniente dos resíduos das culturas de verão, porém, as condições de temperatura e umidade, predominantes nas regiões tropicais e subtropicais, favorecem a decomposição rápida do material orgânico adicionado ao solo (JENKINSON & AYANABA, 1977). Nestas condições é necessário identificar espécies para cultivo de inverno capazes de produzir grande quantidade de fitomassa com rápido desenvolvimento inicial e que não sejam decompostas rapidamente, de modo a permanecer cobrindo o solo o maior tempo possível.

A taxa de decomposição dos resíduos culturais determina o tempo de permanência na superfície do solo. É regulada principalmente pela relação C/N do material, inerente a cada espécie vegetal e ao seu grau de maturação, pois, quanto

mais altos forem os conteúdos de lignina, tanto maior será a resistência a decomposição (BERTOL et al., 2004).

O resíduo vegetal de leguminosas, caracteriza-se por rápida decomposição e liberação de nutrientes (OLIVEIRA et al. 2008), enquanto que aqueles das gramíneas normalmente apresentam decomposição mais lenta (CARVALHO et al., 2008). A quantidade e persistência dos resíduos vegetais depende, do manejo do solo, da espécie ou do tipo de resíduo e das condições climáticas. Esses fatores combinados pode influenciar o armazenamento de água no solo.

ALVARENGA et al. (2001) verificaram que $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de resíduos vegetais de milho sobre o solo foi uma quantidade adequada para proteger o solo da ação da chuva. Os autores salientaram sobre a importância da cultura de milho na formação de palhada, que em média produziu $8,1 \text{ Mg ha}^{-1}$.

No entanto, RUEDELL (1998) comenta que para a cultura da soja a quantidade de resíduos em SSD geralmente é reduzida, raramente ultrapassa $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca, cobrindo entre 50 e 55% da superfície do solo.

BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) mostraram que a aplicação de $5,0$ e $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha aumentou a umidade volumétrica na camada superficial (0-5 cm) 8 a 10 unidades percentuais acima do que no solo descoberto e no tratamento com $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

DERPSCH et al. (1991) verificaram que o maior conteúdo de água no solo sob SSD deve-se, principalmente, à diminuição das perdas por evaporação e ao aumento da taxa de infiltração, em função da cobertura morta sobre a superfície do solo.

DAHIYA et al. (2007) verificaram que a presença de palha na superfície do solo reduziu as perdas de água por evaporação em comparação com os tratamentos sem palha.

ZHANG et al. (2007) verificaram que a cobertura com $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha proporcionou incremento de 5 a 8% no armazenamento de água e de 11 a 13% na diminuição na evaporação do solo, com aumento na produtividade de trigo. Salienta-se que a média anual de precipitação da área experimental foi de 582 mm com temperatura média de $10,5^\circ\text{C}$.

ZHANG et al. (2009) mencionam que o maior efeito da cobertura morta foi observado em um período de seca, o qual apresentou o maior conteúdo de água no solo quando comparado com o solo descoberto. JI & UNGER (2001) também verificaram que o aumento das quantidades de palha propiciaram melhores condições para manter a água armazenada no solo, principalmente em situações de baixa precipitação.

Entretanto, PETRY et al. (2007) observaram que o conteúdo de água do solo para as plantas de milho foi similar no SSD comparado com aquele do SSC. Os autores sugeriram que o fato poderia ser parcialmente explicado pela maior área foliar apresentada pelas plantas de milho cultivadas no SSC.

Dependendo do sistema de manejo adotado, é possível ocorrer modificações em atributos físicos do solo, como agregação (CASTRO FILHO et al. 1998), densidade e a porosidade do solo (DE MARIA et al. 1999), o que como consequência, pode alterar a infiltração, a condutividade hidráulica e o armazenamento de água no solo.

SILVA et al. (2005) relatam a influencia do tipo de preparo nos atributos físicos do solo e seus efeitos no armazenamento de água no solo. Os autores verificaram que o SSD favoreceu o uso de água pelas plantas na fase inicial do estabelecimento das culturas.

FABRIZZI et al. (2005) em um experimento de quinze anos de duração em um Nitossolo Vermelho avaliaram o armazenamento de água no solo sob o SSD e o preparo mínimo na rotação milho/trigo, verificaram que o SSD apresentou maior armazenamento de água durante a fase crítica de crescimento do milho quando comparado com o preparo mínimo. Os autores atribuem essa diferença a menor evaporação da água no solo sob o SSD. Também verificaram que a densidade do solo foi maior sob o SSD do que no preparo mínimo principalmente nas camadas de 0,03-0,08 e 0,13-0,18 m.

A diferença no armazenamento de água entre o SSD e o SSC é mais significativa na camada mais próxima à superfície, sendo mais frequente quando o solo se encontra em processo de secamento (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990). Essa diferença pode ser explicada pela camada de resíduos vegetais formada na superfície

do solo, que reduz a evaporação da água do solo, e pela modificação da geometria porosa do solo (HILL et al. 1985).

KARUNATILAKE et al. (2000) verificaram maior armazenamento de água no solo no SSD do que no SSC em um ano relativamente seco. Segundo os autores, o maior armazenamento de água no SSD se deu em decorrência do maior volume de microporos e, conseqüentemente, menor volume de macroporos no SSD, quando comparado ao SSC. Além disso, o solo sob SSD apresentou cobertura de 78%, enquanto, no SSC, foi de apenas 17%. Contudo, os autores não verificaram diferenças no armazenamento de água no solo entre os sistemas de cultivo em um ano mais chuvoso.

MULUMBA & LAL (2008) verificaram que a manutenção de palha na superfície de um Luvisolo proporcionou aumento na porosidade total, na agregação do solo e no conteúdo de água do solo. No mesmo trabalho, os autores verificaram que quantidades de palha menores que $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, proporcionaram pequenos incrementos na porosidade do solo, quando comparados com uma situação com ausência de palha.

A caracterização do sistema poroso é importante nos estudos que envolvem armazenamento e movimento de água e gases no solo; em estudos do desenvolvimento radicular das plantas; em estudos relativos ao fluxo e retenção de calor e nas investigações de resistência mecânica dos solos (FERREIRA, 2010).

Os microporos são importantes para a retenção e armazenamento de água pelo solo, ao passo que os macroporos são responsáveis pela infiltração, rápida redistribuição e aeração do solo (FERREIRA, 2010).

Tão importante quanto o volume total, é conhecer o tamanho e a distribuição dos poros no solo. Segundo HILLEL (1980), a distribuição do tamanho dos poros, afeta o armazenamento de água no solo.

O solo sob SSD, geralmente apresenta maiores valores de densidade do solo e menor volume de macroporos, pode também apresentar maiores taxas de infiltração de água. Isto ocorre em função dos poros do solo sob SSD serem mais contínuos, principalmente pelos canais construídos pela macrofauna (DOUGLAS JÚNIOR et al., 1980) e pelo sistema radicular das plantas.

As gramíneas, como milho, milheto e sorgo produzem um sistema radicular volumoso, com grande capacidade de explorar o perfil do solo (CALEGARI, 2006). Em contrapartida, espécies com sistema radicular pivotante, como o guandu, crotalária e o nabo forrageiro, produzem menor quantidade de bioporos, apesar de possuírem maior capacidade de romper camadas compactadas (FOLONI et al., 2006).

KEMPER e DERPSCH (1981) relatam que a rotação de culturas incluindo plantas de cobertura que possuem raízes profundas e robustas tais como, guandu, nabo forrageiro, girassol, mamona e ervilhaca peluda induzem efeitos biológicos positivos no aumento da macroporosidade do solo.

SILVA & ROSOLEM (2002), trabalhando com solo de textura franco arenosa em casa de vegetação, observaram que o aumento da densidade do solo não impediu o crescimento radicular de aveia preta, guandu, milheto, mucuna preta, soja, sorgo e tremoço. No entanto, a soja cultivada em seguida, não apresentou crescimento adequado.

No início da implantação do SSD é comum encontrar diferenças de densidade em relação a outras camadas. Isto se deve ao arranjo natural do solo não mobilizado à pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, em particular quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (SILVEIRA & STONE, 2003).

Por um longo período (20 anos) sob SSD com soja e milho em anos alternados no verão e aveia preta, centeio, triticale, trigo ou crotalária como culturas de inverno, SIQUEIRA et al. (2009) constataram diminuição dos valores de densidade do solo e aumento expressivo na porosidade de um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa.

Entretanto, CALEGARI (2006) em um experimento de 21 anos em um Latossolo Vermelho aluminoférico, com 72% de argila, 14% de silte e 14% de areia, sob rotação de culturas com a sequência de soja ou milho no verão e seis tratamentos de inverno (tremoço azul, ervilhaca peluda, aveia preta, nabo forrageiro, trigo e pousio), não verificou alterações na porosidade total sob o SSD comparado ao SSC.

Vários experimentos mostram que o efeito de sistemas de manejo do solo na densidade do solo e na distribuição do tamanho dos poros, principalmente no volume de macroporos, não é consistente, pois, depende principalmente do tempo transcorrido após a aplicação do tratamento, e ainda, na interação entre o solo, a planta e atmosfera.

1.2 Determinação do conteúdo de água no solo

O conteúdo de água no solo é a quantidade de água armazenada até uma dada profundidade do solo (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008). Sua determinação é uma ferramenta de fundamental importância para a prática de irrigação (MIRANDA et al., 2001), pois, permite a correta quantificação da lâmina de água a ser aplicada para atender as necessidades das culturas.

Diferentes métodos podem ser utilizados para determinar o conteúdo de água no solo, sendo que, apresentam vantagens e desvantagens.

Na literatura é vasta a quantidade de métodos existentes, porém, os mais utilizados são: método gravimétrico, tensiometria, psicrometria, blocos de resistência elétrica, técnicas eletromagnéticas (reflectometria no domínio do tempo), técnicas nucleares (moderação de nêutrons e atenuação de raios gama) e tomografia computadorizada (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008).

O método padrão é o método gravimétrico, por ser o mais simples e permitir diretamente a obtenção da umidade do solo. Apresenta, no entanto, a desvantagem de ser demorado, destrutivo e não permitir a repetição da amostragem no mesmo local.

Segundo TAYLOR (1965), entre os métodos para determinar o conteúdo de água no solo, o de mais fácil utilização é por meio do monitoramento do potencial de água no solo. O estado da água no solo pode ser descrito por duas maneiras, em termos de quantidade presente e em termos de energia potencial. Para as plantas, é importante o estado de energia da água no solo, pois, solos com diferentes classes texturais podem

apresentar semelhantes quantidades de água, porém, com diferentes estados de energia.

Um método não destrutivo, rápido, e que possibilita a repetição da amostragem em um mesmo local e que se baseia na energia potencial da água no solo, é aquele que utiliza o tensiômetro. Além de quantificar o potencial mátrico da água no solo o uso do tensiômetro possibilita determinar a umidade do solo.

A invenção do tensiômetro é creditada a Willard Gardner (CASSEL & KLUTE, 1986), no entanto, segundo OR (2001) foi Burton E. Livingston em 1908 o primeiro a ter usado um tensiômetro na medição e controle de potencial mátrico.

Desde a sua criação a versão original do tensiômetro vem apresentando modificações (WHALLEY, et al., 2009), principalmente no sistema de leitura e nos materiais constituintes, as quais tem por objetivo facilitar a instalação, operação, manutenção do equipamento no campo, melhorar o tempo de resposta e facilitar a leitura pelo operador.

O tensiômetro convencional utiliza como sistema de leitura o mercúrio, sendo uma medida direta do potencial matricial. Porém, apresenta desvantagens, como a utilização de mercúrio (produto altamente tóxico, se utilizado inadequadamente), as leituras são realizadas manualmente, o que dificulta o registro pelo operador e a manutenção do aparelho deve ser constante para eliminar bolhas de ar no seu interior.

Visando facilitar a operação e manutenção do tensiômetro, foi desenvolvido um transdutor de pressão (MARTHALER et al., 1983) que quantifica a tensão no seu interior com o auxílio de um manômetro digital, denominado de tensímetro. Segundo OR & WRAITH (2000) os transdutores de pressão, proporcionam maior precisão na leitura do que o manômetro de mercúrio.

O desenvolvimento de novos métodos e equipamentos que possibilitem determinar o conteúdo de água no solo é de grande importância para o conhecimento agrônomo e para a pesquisa científica (TEIXEIRA et al., 2005).

Outro método não destrutivo, que possibilita monitorar a umidade no solo consiste na utilização de técnicas de atenuação de nêutrons. Este método destaca-se pela mínima alteração no perfil do solo, em qualquer momento, de forma extremamente

rápida e prática. No entanto, segundo HERMANN JR. (1993), a técnica de moderação de nêutrons não possibilita medidas precisas de umidade na superfície do solo, o que indica a necessidade de estudos visando a utilização de outros métodos.

TEIXEIRA et al. (2005) verificaram que a sonda de nêutrons mostrou-se mais eficiente na determinação da umidade do solo em camadas mais profundas em comparação com a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). Na moderação de nêutrons a esfera de influência varia em função da umidade do solo, assim ela será maior em solos secos do que em uma condição de maior umidade, podendo ocorrer perda de nêutrons para a atmosfera em camadas superficiais do solo.

Verifica-se que são varias as metodologias para determinar a umidade do solo, com suas respectivas particularidades, contudo, são poucos os trabalhos encontrados na literatura que comparam a eficiência dessas tecnologias na determinação do conteúdo de água no solo.

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE LEITURA DO POTENCIAL MÁTRICO DA ÁGUA NO SOLO E AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO - O presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência do tensiômetro de punção e leitura digital em relação ao tensiômetro de coluna de mercúrio e leitura analógica, na obtenção do potencial mátrico, e comparar os valores da umidade do solo obtidos a partir da tensiometria com a técnica da moderação de nêutrons. Foram aplicadas em quatro parcelas experimentais lâminas de água (238,9; 159,8; 118,2 e 65,0 mm). Três repetições de cada tipo de tensiômetro e sistema de leitura foram instalados na camada de 0,20 m. A partir dos valores do potencial mátrico obtidos pelos tensiômetros e pela curva de retenção de água no solo foi determinada a umidade gravimétrica e os dados foram comparados com a técnica da moderação de nêutrons. O potencial mátrico da água no solo medido pelo tensiômetro de punção de leitura digital não apresentou diferença em relação aos valores obtidos pelo tensiômetro de mercúrio, em potenciais mátricos maiores que - 40 kPa. Com ciclos de umedecimento e secamento do solo, o potencial mátrico obtido pelo tensiômetro de punção com leitura digital foi menor do que os valores obtidos pelo tensiômetro de mercúrio.

Palavras-chave: tensiômetro, tensímetro digital, técnica de moderação de nêutrons, umidade do solo.

2.1 INTRODUÇÃO

O solo tem capacidade de armazenar água em seus poros e de disponibilizar parte dela às plantas na medida de suas necessidades. Por meio do monitoramento do potencial mátrico da água no solo é possível determinar a quantidade de água necessária a ser repostada para as plantas via irrigação. O adequado manejo da irrigação pode reduzir significativamente a quantidade de água aplicada, de maneira a minimizar as perdas de água e solo, aumentar a produtividade das culturas e diminuir os custos de produção.

Existem métodos diretos e indiretos para determinar a umidade do solo. O método direto mais conhecido é o gravimétrico e, dentre os indiretos tem-se: blocos de resistência elétrica, sonda de nêutrons, radiação gama, tensiometria, psicrometria, tomografia computadorizada e reflectometria no domínio do tempo (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008).

O método gravimétrico é considerado padrão, porém, envolve a coleta de amostras de solo para cada medida, tornando-se laborioso e causando impacto ao meio, pela retirada constante de solo da área. Este método não permite repetições da medida em um mesmo local, portanto, não é adequado para avaliações que exijam muitas medidas ao longo do tempo (CICHOTA et al., 2008).

Existem três maneiras diretas para medir a influência do teor de água do solo sobre o potencial mátrico. São elas: câmara de pressão de Richards, funil de Haines e o tensiômetro (LIBARDI, 2005).

Embora os três métodos utilizem uma placa porosa, o único que permite medição direta no campo é o tensiômetro. Seu princípio de funcionamento baseia-se no equilíbrio entre as forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a água e as partículas sólidas do solo.

O uso do tensiômetro tem a vantagem de indicar o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada ao solo, o que requer o conhecimento da curva de retenção de água do solo.

Desde a sua criação, a versão original do tensiômetro vem apresentando modificações (WHALLEY et al., 2009), principalmente no sistema de leitura e nos materiais constituintes, as quais tem por objetivos facilitar a instalação do equipamento no campo, melhorar sua operação, manutenção e tempo de resposta e facilitar a leitura pelo operador.

O sistema de leitura pode ser indicado por um manômetro na forma de tubo em U com água e mercúrio, ou com um indicador mecânico ou elétrico (REICHARDT & TIMM, 2004).

O tensiômetro convencional utiliza como sistema de leitura o manômetro de coluna de mercúrio, sendo uma medida direta do potencial mátrico. Porém, apresenta desvantagens, como: 1) utiliza o mercúrio, produto altamente tóxico se utilizado inadequadamente; 2) as leituras são realizadas manualmente, com possibilidade de erro visual na leitura pelo operador; 3) a manutenção do aparelho deve ser constante para eliminar bolhas de ar no interior do tensiômetro.

O tensiômetro com manômetro de mercúrio é utilizado para fins de pesquisa, porém, para fins práticos, como seu uso no campo, apresenta dificuldades operacionais. Assim, há necessidade de avaliar um sistema de leitura que facilite o seu uso.

Visando facilitar a operação e manutenção do tensiômetro, foi desenvolvido um transdutor de pressão com leitura digital (MARTHALER et al., 1983) que quantifica a tensão no interior do tubo tensiométrico, e que cujos valores são visualizados em um painel digital.

O desenvolvimento de novas metodologias e instrumentos que possibilitem determinar o conteúdo de água no solo é de grande importância para o conhecimento agrônomo e para a pesquisa científica (TEIXEIRA et al., 2005).

Outra técnica para determinação do conteúdo de água no solo é o da moderação de nêutrons, permitindo que o conteúdo de água no solo seja obtido de maneira direta, com o mínimo de alteração no perfil do solo, a qualquer momento e de forma rápida e prática. Sua desvantagem é o custo do equipamento e uso de uma fonte radioativa.

Contudo, são poucos os trabalhos encontrados na literatura que comparam a eficiência dessas tecnologias na determinação do conteúdo de água no solo.

Diante do exposto, a hipótese do presente trabalho é a de que o potencial mátrico da água no solo medido pelo tensiômetro de punção e leitura digital não apresenta diferença em relação aos valores obtidos pelo tensiômetro de mercúrio e a umidade gravimétrica determinada pela tensiometria não difere daquela obtida pela técnica da moderação de nêutrons.

O objetivo do presente estudo foi medir o potencial mátrico da água no solo, utilizando o tensiômetro de mercúrio e o tensiômetro de punção e leitura digital e comparar os resultados de umidade do solo, determinados por tensiometria, com aqueles determinados utilizando-se a técnica da moderação de nêutrons.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da UNESP, município de Jaboticabal, SP (21° 14' 51" S e 48° 16' 58" W). O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho eutrófico, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), cujos atributos físicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da composição granulométrica, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo na camada de solo de 0,0 – 0,2 m⁽¹⁾.

Parcela	Argila	Silte	Areia	Ds	Pt	Ma	Mi
	-----g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		
P1	438	188	374	1,24	0,54	0,15	0,39
P2	488	177	335	1,21	0,56	0,17	0,39
P3	430	190	380	1,28	0,51	0,12	0,39
P4	492	166	342	1,41	0,50	0,07	0,43

⁽¹⁾ Os valores são médias de 3 repetições por parcela.

2.2.2 Implantação e condução do experimento

Para a condução do presente estudo foram selecionadas quatro parcelas experimentais (P1, P2, P3 e P4) de um experimento maior, cujo objetivo foi avaliar diferentes métodos para determinar a altura da lâmina de água para irrigação da cultura do feijoeiro. A cultura foi implantada no mês de junho de 2008 em solo preparado de maneira convencional (escarificação e gradagem). O cultivar utilizado foi o Carioca, no espaçamento de 0,45 m entre linhas.

Cada parcela experimental ocupou área de 864 m² (54 m de comprimento por 16 m de largura). As bordaduras das parcelas corresponderam aos 9 m iniciais e finais do comprimento e aos 4 m das laterais, ficando a área útil de cada parcela com 288 m² (36 m x 8 m).

Nas parcelas P1 e P2 as lâminas de irrigação foram determinadas com base na estimativa da evapotranspiração máxima da cultura do feijão e pela tensiometria. A metodologia adotada para o início, frequência e volume aplicado das lâminas de água nas parcelas está descrita em FERNANDES (2008).

As parcelas P3 e P4, foram submetidas a quatro e duas irrigações, conforme Tabela 2, visando obter variação no conteúdo de água do solo em relação às demais parcelas.

As quantidades de água aplicadas em cada parcela (altura da lâmina) foram mensuradas utilizando-se um conjunto de doze pluviômetros e seus valores médios, assim como as precipitações ocorridas durante a condução do experimento estão apresentados na Tabela 2.

Para avaliação da uniformidade de distribuição de água, foi utilizado o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (1942), cujo valor médio encontrado foi 87,9%, portanto, dentro do valor mínimo adotado como referência para o sistema de irrigação por aspersão, que é de 80%.

Tabela 2. Valores médios das lâminas de água aplicadas nas parcelas e precipitações ocorridas durante a condução do experimento no período de 24/06 a 01/09 de 2008.

Data	Precipitação	Lâmina de água (mm)			
		P1	P2	P3	P4
24/6		30,00	30,00	30,00	30,00
4/7		22,60			
11/7		15,40			
15/7		18,50			
23/7		31,50			
25/7			58,55		
28/7		23,60			
30/7				37,67	35,00
1/8		22,20			
4/8	5,80				
5/8	13,70				
11/8	2,50				
12/8				28,83	
13/8		21,60	34,25	21,70	
18/8		27,60			
22/8			37,00		
25/8		25,90			
1/9	1,70				
Total	23,70	238,90	159,80	118,20	65,00

2.2.3 Avaliações

2.2.3.1 Determinação do potencial mátrico da água no solo

Aos 15 dias após a emergência da cultura foram instaladas no centro das parcelas experimentais e na entre linha da cultura três repetições do tensiômetro de coluna de mercúrio com leitura analógica e três do tensiômetro de punção com leitura digital, totalizando nas 4 parcelas, 12 tensiômetros de cada sistema de leitura. A constituição do tensiômetro com coluna de mercúrio e o tensiômetro com sistema de leitura digital podem ser observadas na Figura 1.

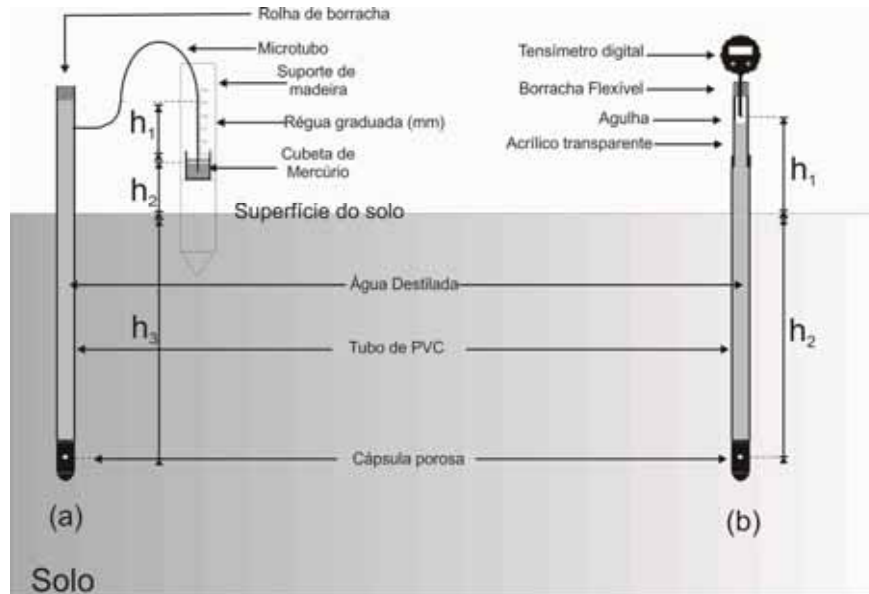


Figura 1. Constituição do tensiômetro com coluna de mercúrio (a) e o tensiômetro de punção e leitura digital (b).

Os tensiômetros foram instalados na camada de 0,20 m com o auxílio de um trado de rosca, um ao lado do outro, em linha, distanciados entre si de 0,15 m, de maneira alternada (aos pares), isto é, um tensiômetro de mercúrio seguido do tensiômetro de punção com leitura digital. As repetições ficaram distantes uma das outras de 9 m dentro da parcela experimental.

As cápsulas de cerâmica dos tensiômetros foram submetidas ao teste de borbulhamento no qual consistiu em submeter as cápsulas a incrementos de pressões, tendo como referência valores superiores a 100 kPa.

As leituras do potencial mátrico tiveram início aos 20 dias após a emergência da cultura, realizadas diariamente entre as 7 e 8 h, por um período de 52 dias. Os valores do potencial mátrico da água no solo, medidos em mm de Hg com o tensiômetro de mercúrio, foram transformados e corrigidos para kPa por meio da equação 1:

$$\Psi_m = (-12,6 h_1 + h_2 + h_3) 0,0981 \quad (1)$$

em que: Ψ_m é o potencial mátrico da água no solo (kPa); h_1 é a altura manométrica da coluna de mercúrio (cm); h_2 é a altura desde a superfície do mercúrio

no recipiente até a superfície do solo (cm) e h_3 é a profundidade de instalação do tensiômetro considerada da superfície do solo até o centro da cápsula porosa (cm). O valor 0,0981 representa o fator de transformação de cm de coluna de água para kPa.

Os valores do potencial mátrico da água no solo medidos com o tensiômetro de punção e leitura digital foram transformados e corrigidos para kPa por meio da equação 2:

$$\Psi_m = [(1019L) + (h_1 + h_2)] 0,0981 \quad (2)$$

em que: Ψ_m é o potencial mátrico da água no solo (kPa); L é a leitura do tensiômetro (cbar); h_1 é a coluna de água da superfície do solo até a o nível de água no tubo transparente (cm) e h_2 é a profundidade de instalação do tensiômetro da superfície do solo até o centro da cápsula porosa (cm). O valor 0,0981 representa o fator de transformação de cm de coluna de água para kPa.

O tensiômetro digital utilizado foi importado e comercializado pela empresa Hidrodinâmica, cuja unidade de leitura de tensão é fornecida em cbar por meio de um visor digital.

Com o objetivo de avaliar a confiabilidade dos valores de potencial mátrico da água no solo obtidos pelo tensiômetro digital, procedeu-se sua calibração em laboratório. Para isso, foi construído um tensiômetro de modo a permitir que ambos os sistemas de leitura, tanto o manômetro de mercúrio como o tensiômetro digital de punção funcionassem conjuntamente em um mesmo tubo tensiométrico. Os valores do potencial mátrico medidos por ambos os sistemas de leitura foram equivalentes, indicando confiabilidade nos valores obtidos pelo tensiômetro digital (Figura 2).

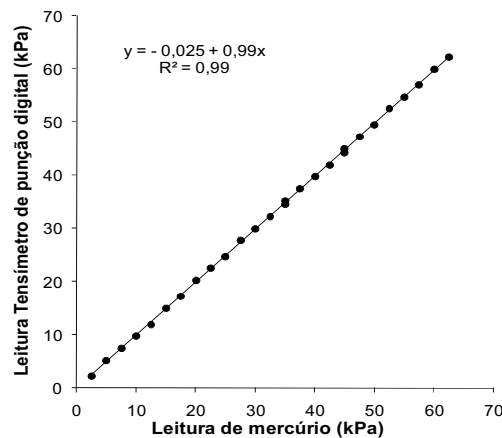


Figura 2. Calibração em laboratório do tensímetro digital.

2.2.3.2 Determinação da curva de retenção de água no solo

Como o tensiômetro não fornece leitura direta de umidade do solo, esta foi determinada indiretamente a partir da curva característica de retenção de água do solo.

Para isso, foram coletadas amostras indeformadas de solo de cada parcela experimental na camada de 0-0,20 m em três replicações.

Após a coleta, as amostras foram submetidas à saturação por água durante um período de 24 h. Os anéis foram acondicionados em bandeja plástica, que gradualmente, foi preenchida com água até a lâmina de água atingir a borda superior do anel volumétrico.

Após a saturação as amostras foram submetidas progressivamente às tensões de 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 e 10 kPa, utilizando-se mesa de tensão (Figura 3), conforme descrito por LIMA & SILVA (2008) e às tensões de 30; 60; 100; 300 e 1500 kPa utilizando-se câmara de pressão de Richards (Figura 4) com placa porosa (KLUTE, 1986).

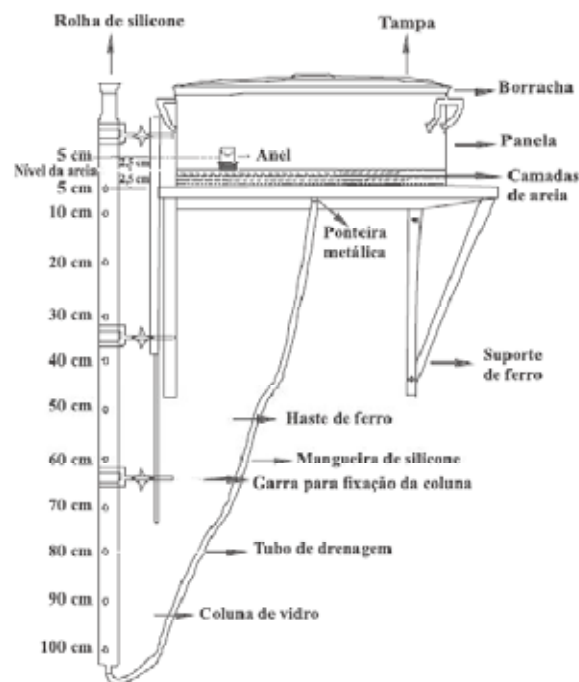


Figura 3. Detalhes dos constituintes da mesa de tensão (adaptado de LIMA & SILVA 2008).

a)

b)

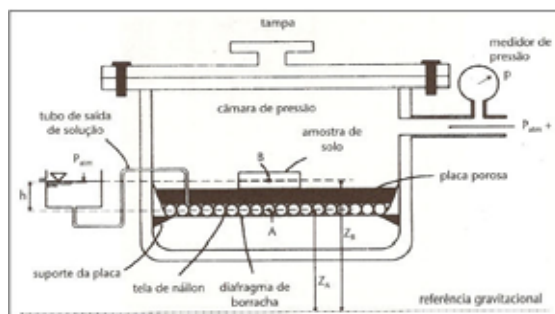


Figura 4. Detalhes dos constituintes da câmara de pressão de Richards (a) (adaptado de LIBARDI, 2005) e amostras deformadas de solo no interior da câmara de pressão de Richards com placa porosa (b).

A retenção de água na tensão de 1500 kPa foi determinada em amostras deformadas de solo, seguindo método proposto pela EMBRAPA (1997).

Ao atingir o equilíbrio hídrico em cada tensão (até o momento de cessar a drenagem) as amostras foram pesadas. Após as amostras serem submetidas na tensão de 300 kPa, foram pesadas e enviadas para estufa a 105°C durante 24 h.

Posteriormente, foi realizado o ajuste dos dados do conteúdo de água retido nas diferentes tensões pelo modelo de van GENUCHTEN (1980), utilizando-se o programa SWRC - Soil Water Retention Curve (DOURADO NETO et al., 2001), dada pela equação 3:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha\psi)^m\right]^n} \quad (3)$$

em que: θ é a umidade gravimétrica (kg kg^{-1}); θ_r é a umidade residual (kg kg^{-1}); θ_s é a umidade de saturação (kg kg^{-1}); α m e n são os parâmetros empíricos do modelo matemático e ψ é o potencial de água no solo (cm).

2.2.3.3 Determinação da umidade do solo por meio da moderação de nêutrons

Adicionalmente, com o objetivo de medir a umidade gravimétrica do solo por meio da técnica de moderação de nêutrons, foi instalado um tubo de acesso de alumínio com diâmetro interno de 0,048 m e comprimento de 1,9 m em cada parcela experimental.

O tubo de acesso foi instalado na mesma linha onde foram instalados os tensiômetros e localizado entre a segunda e terceira repetição de tensiômetros, ou seja, distante de 4,5 m de cada repetição de tensiômetros.

O modelo do equipamento de sonda de nêutrons utilizado foi o 503 DR Hydroprobe da CPN Corporation, fonte de nêutrons de 241 Am/Be e intensidade radioativa de 1,85 GBq. O tempo para obter as contagens de nêutrons foi de 32 segundos e baseou-se nos resultados experimentais obtidos por BERALDO et al. (2009).

A metodologia para calibração da sonda de nêutrons consistiu, primeiramente, na contagem dos nêutrons em água, como padrão, e, posteriormente, no solo, para obter a contagem relativa de nêutrons (CR), que é definida como a razão entre contagem de neutros no solo e a contagem de nêutrons na água.

A partir dos valores de CR e da umidade gravimétrica (média de 18 pares de dados) foi obtida a equação de regressão linear, conforme apresentado pela equação 4:

$$\theta = - 0,068 + 0,7802 \text{ CR} \quad R^2 = 0,95 \quad (4)$$

em que: θ é umidade gravimétrica na camada de 0-0,20 m e CR é a contagem relativa de nêutrons.

2.2.4 Análise dos dados

Foi realizada a análise de correlação e regressão entre os valores de potencial mátrico obtidos pelo tensiômetro de mercúrio e pelo tensiômetro de punção com leitura digital. Dois índices estatísticos foram utilizados para quantificar as diferenças entre as variações no potencial mátrico da água no solo obtido pelos dois sistemas de leitura, sendo eles o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d), proposto por WILLMOTT et al. (1985).

Em razão dos índices estatísticos não quantificarem os erros, foram determinados os indicadores de erro absoluto médio (EAM), raiz quadrada do erro do quadrado médio (RQEQM) e a eficiência (EF) conforme ZACHARIAS et al. (1996). Os valores do potencial mátrico obtidos a partir do tensiômetro de mercúrio foram considerados como referência para comparação entre os sistemas de leitura.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do potencial mátrico da água no solo, obtidos pelos tensiômetros variaram de -5 a -80 kPa (Figuras 5 e 6), ou seja, variação no teor de água no solo abrangendo desde uma condição úmida até bem seca.

A partir de valores de potencial mátrico menores que -80 kPa não foi possível obter leituras por meio da tensiometria. Isto ocorre devido à ação de forças mátricas que atuam no solo, causando um gradiente de energia potencial que faz com que a água flua do interior da cápsula, para o solo, ou seja, de um local de maior energia para um local com menor energia potencial total. Em decorrência da transferência de energia o ar contido no solo consegue atravessar a parede da cápsula porosa, causando a quebra da coluna de equilíbrio entre a água contida no interior do tubo tensiométrico e a água no solo. Esse fato foi observado nas parcelas P2, P3 e P4 no período entre 21 a 29/07/2008, pois, nesse período, foram registrados valores do potencial mátrico da água no solo menores ou iguais a -80 kPa, valor limite de leitura dos tensiômetros (Figuras 5 e 6).

Os valores do potencial mátrico da água no solo na P1 se mantiveram, com maior frequência, em potenciais maiores que -40 kPa, ou seja, em condição mais úmida, como era de se esperar em decorrência da maior frequência da irrigação e da maior lâmina de água aplicada nesta parcela.

Não houve diferença entre os valores do potencial mátrico da água no solo entre os sistemas de leitura quando esses se mantiveram em até -40 kPa (Figuras 5 e 6). Em períodos que ocorreu o secamento do solo com posterior reposição da água, foram observadas as maiores diferenças entre os valores das leituras dos tensiômetros com diferentes sistemas de leitura, como pode ser observado no dia 25/07, logo após a irrigação (Figuras 5 e 6) e no período avaliado entre 25/6 a 15/7.

ASSIS JÚNIOR & REICHARDT (1997) observaram em um trabalho de campo, que a resposta do tensiômetro de mercúrio e do tensiômetro com câmara de ar foi semelhante, porém, em uma condição em que os valores do potencial mátrico da água no solo foram maiores que -40 kPa.

Observou-se menor amplitude entre os valores obtidos pelo tensiômetro de mercúrio e o tensiômetro de punção e leitura digital quando o valor do potencial mátrico foi inferior a -40 kPa em comparação com a amplitude média em períodos em que o valor do potencial mátrico foi superior a -40 kPa (Tabela 3).

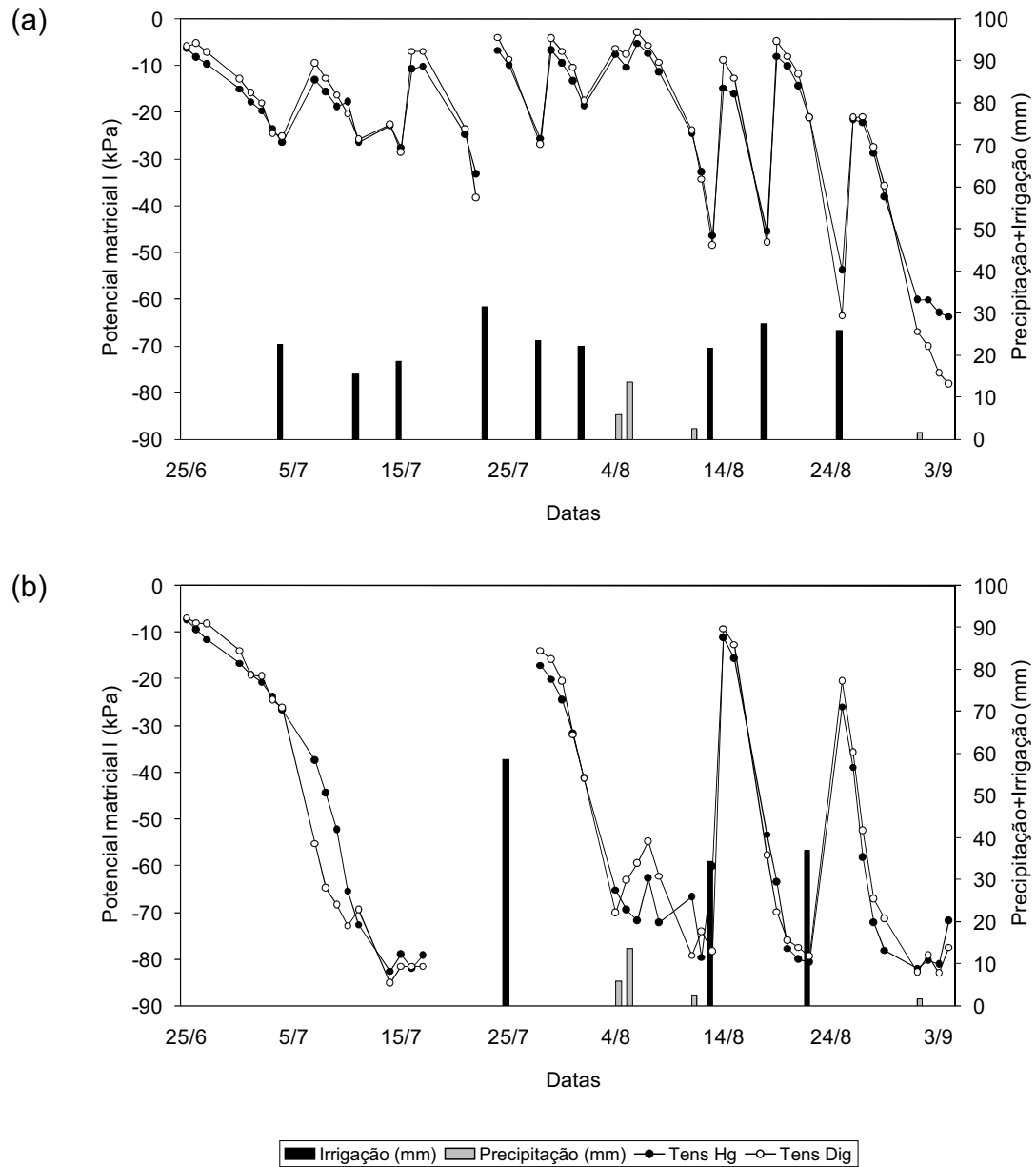


Figura 5. Potencial mátrico da água no solo medida pelo tensiômetro de mercúrio (Tens Hg) e tensiômetro de punção e leitura digital (Tens Dig) nas parcelas P1 (a) e P2 (b).

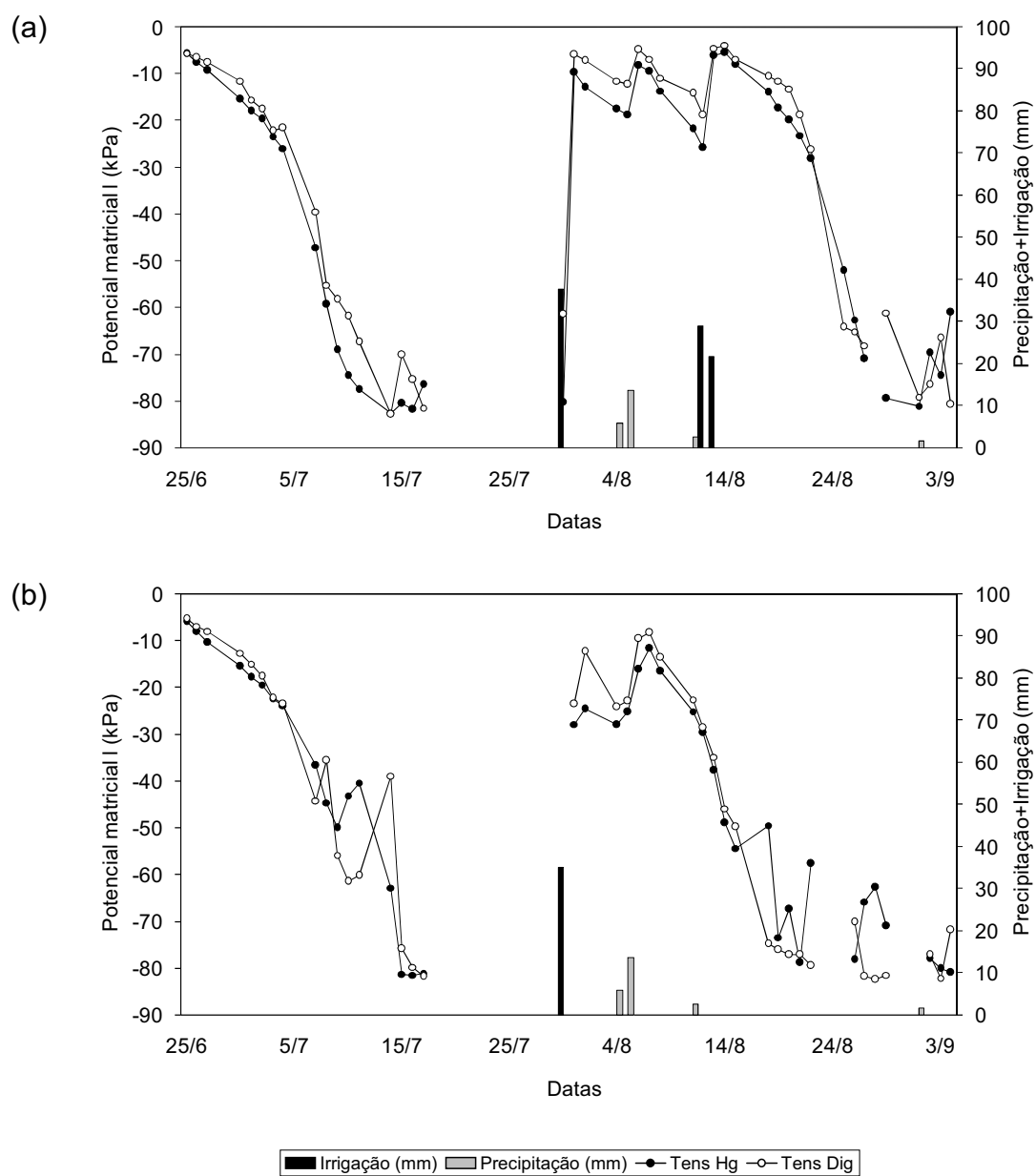


Figura 6. Potencial mátrico da água no solo medida pelo tensiômetro de mercúrio (Tens Hg) e tensiômetro de punção e leitura digital (Tens Dig) nas parcelas P3 (a) e P4 (b).

Tabela 3. Amplitude entre os valores (módulo) obtidos pelo tensiômetro de mercúrio e tensiômetro digital de punção separado por duas faixas do potencial mátrico.

Data	Faixa	Parcela			
		P1	P2	P3	P4
		-----kPa-----			
25-06-08	Inferior a -40kPa	0,4	0,5	0,2	0,6
26-06-08		3,0	1,6	1,0	1,2
27-06-08		2,5	3,3	1,8	2,4
30-06-08		2,0	2,7	3,8	3,0
01-07-08		1,8	0,2	2,4	2,9
02-07-08		1,7	1,1	2,1	1,8
03-07-08		1,1	0,7	1,2	0,1
04-07-08		1,3	0,4	4,4	0,2
07-07-08		3,5	*	*	*
08-07-08		3,1	*	*	*
09-07-08		2,7	*	*	*
10-07-08		2,5	*	*	*
11-07-08		0,6	*	*	*
14-07-08		0,2	*	*	*
15-07-08		1,1	*	*	*
Média		1.7	1.3	2.1	1.5
07-07-08	Superior a -40 kPa	**	17,7	7,7	7,6
08-07-08		**	20,3	4,2	9,1
09-07-08		**	16,2	10,7	5,8
10-07-08		**	7,5	12,8	18,4
11-07-08		**	3,1	10,2	19,8
14-07-08		**	2,6	0,3	24,0
15-07-08		**	2,4	10,4	5,5
Média		**	10,0	8,0	12,9

*Valores superiores a -40 kPa; **Valores inferiores a -40 kPa.

Em períodos cujo valor do potencial mátrico foi inferior a -40 kPa a amplitude média (em módulo) variou de 1,3 a 2,1 kPa, enquanto, quando o valor do potencial mátrico foi superior a -40 kPa, a amplitude média variou de 8,0 a 12,9 kPa, portanto, grande diferença entre os sistemas de leitura do potencial mátrico quando se leva em conta as faixas acima e abaixo de -40 kPa. Com ciclos progressivos de secagem e umedecimento, o volume de ar no interior do tensiômetro se altera, o que causa a falha na resposta do equipamento (MARINHO et al., 2008).

COELHO & TEIXEIRA (2004) verificaram que o erro no valor do potencial mátrico, obtido pelo tensiômetro de mercúrio, assim como para um tensiômetro,

constituído por um circuito eletrônico e um sensor de pressão diferencial, tendem a ser mais evidentes à medida que o potencial mátrico diminui, isto é, quando o solo seca.

Em condições de umedecimento e secamento do solo, a utilização de um sensor capacitivo que possui valores extremos da constante dielétrica em diferentes meios (ar e água), apresenta baixo tempo de resposta nas variações do teor de água do solo (CRUZ et al., 2010), constituindo-se assim uma alternativa para estimar o conteúdo de água no solo em condições extremas.

Na maioria das datas avaliadas no presente estudo, os valores do potencial mátrico medidos pelo tensiômetro de punção com leitura digital foram maiores (menos negativos), quando comparados com aqueles obtidos por meio do tensiômetro de mercúrio (Figuras 5 e 6). Resultados semelhantes foram observados por MORAES et al. (2006) e BRITO et al. (2009). Esse resultado pode ser atribuído a um pequeno acréscimo no potencial, no momento em que a borracha siliconada é perfurada pela agulha do tensímetro, pois com a inserção da agulha é alterado o volume de ar no interior do tubo tensiométrico.

O maior e o menor coeficiente de determinação (R^2) entre os valores do potencial mátrico da água do solo medidos pelos dois sistemas de leitura foram observados nas parcelas P1 e P4, respectivamente. Este fato demonstra que os valores de potencial observados se assemelham quando o solo se encontra com maior umidade e são mais discrepantes em condições de solo mais seco (Figuras 7 e 8).

Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por MARTHALER et al. (1983) que obtiveram alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$) entre as leituras de potencial mátrico do solo avaliado com o tensiômetro de mercúrio e com transdutor de pressão com sistema de leitura digital. Os autores atribuíram os resultados à maior frequência das irrigações que mantiveram o solo úmido.

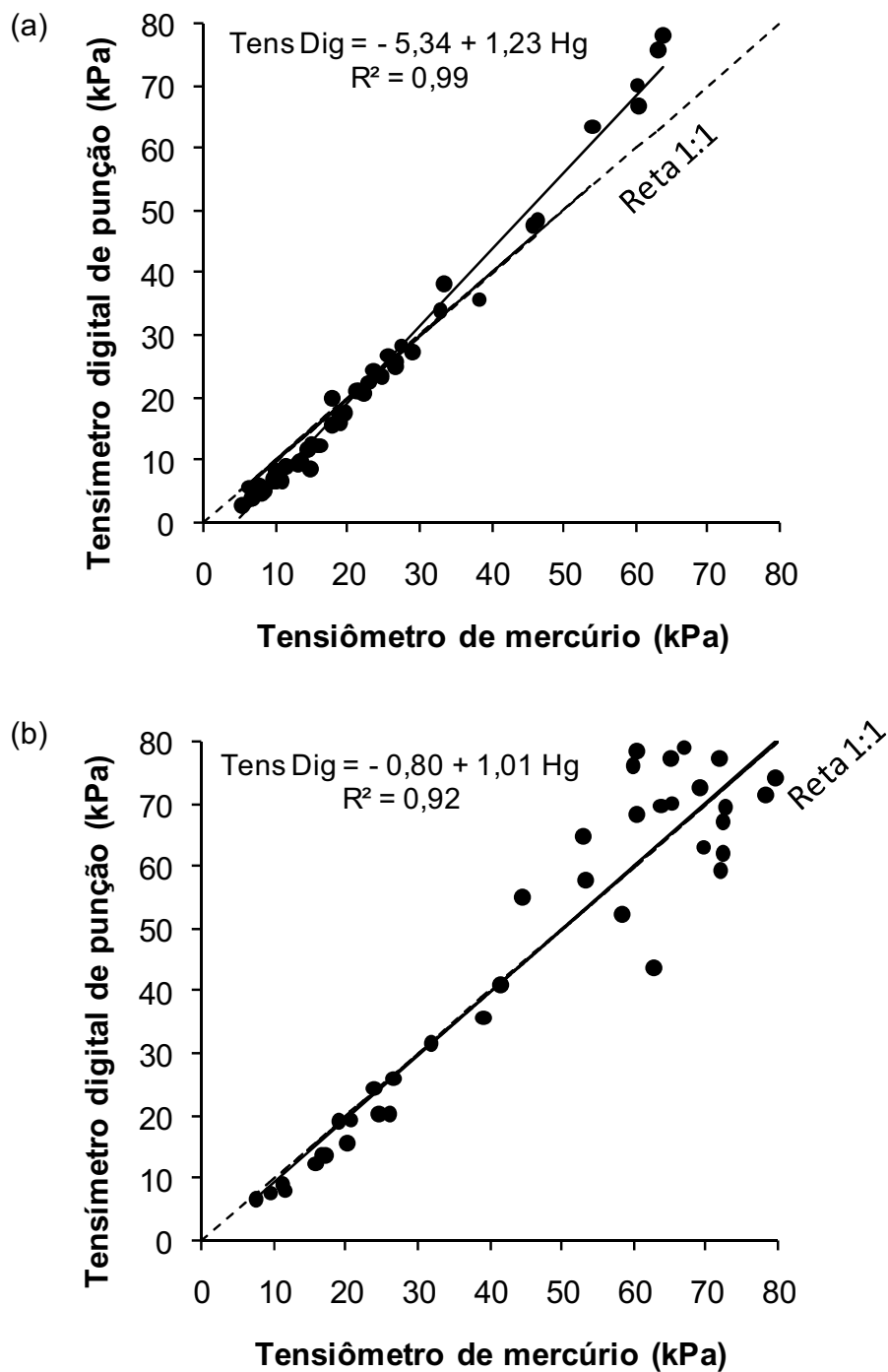


Figura 7. Análise de correlação e regressão entre o potencial mátrico da água no solo (módulo) pelo tensiômetro de mercúrio e tensiômetro de punção e leitura digital nas parcelas P1(a) e P2 (b).

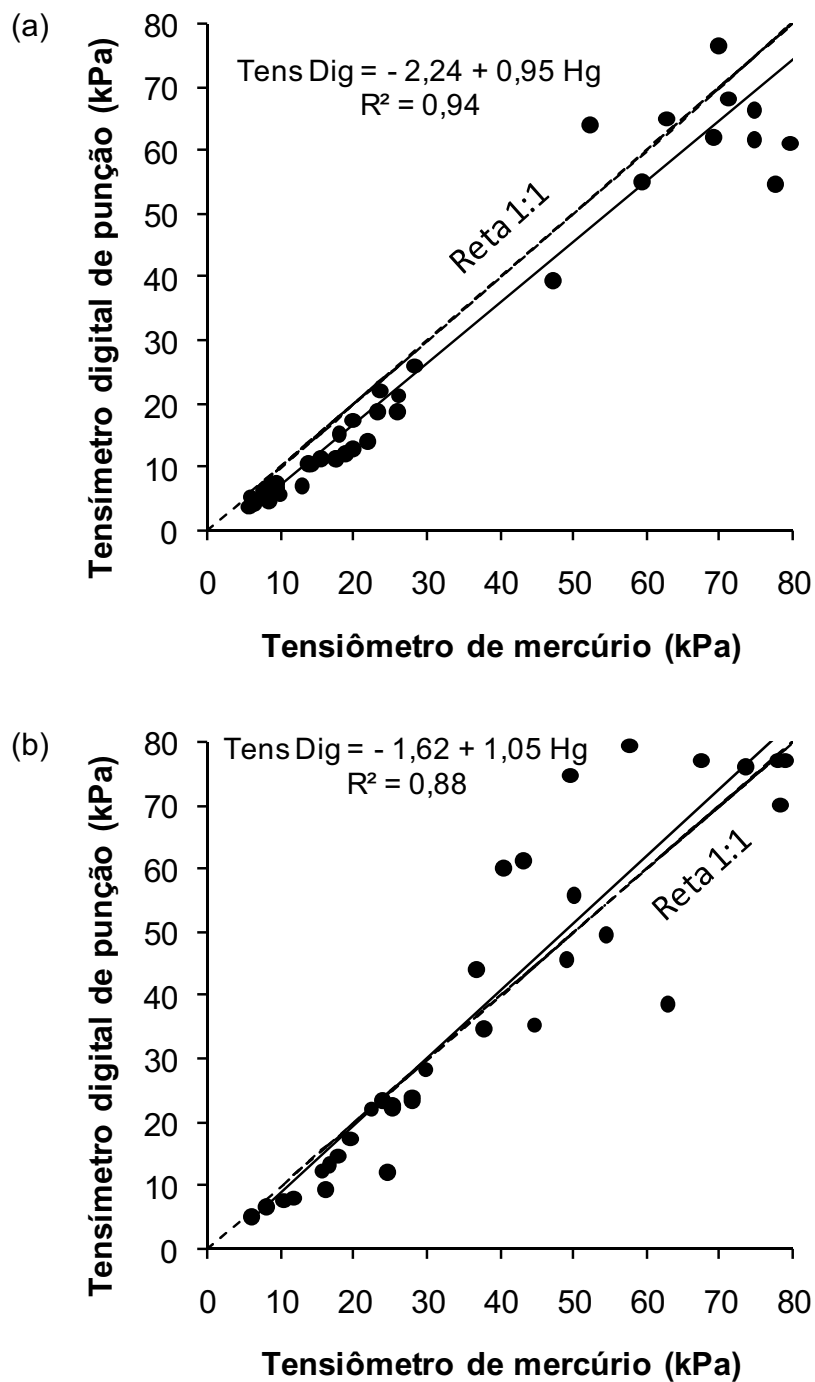


Figura 8. Análise de correlação e regressão entre o potencial mátrico da água no solo (módulo) pelo tensiômetro de mercúrio e tensiômetro de punção e leitura digital nas parcelas P3 (a) e P4 (b).

Ainda nas Figuras 7 e 8, pode-se observar que a maior dispersão dos dados em relação à reta 1:1 ocorreu para valores com potencial mátrico menores que -40 kPa, confirmando ser esse o valor que a partir do qual ocorreram as maiores diferenças entre os valores do potencial mátrico do solo medidos pelos dois sistemas.

Os valores observados dos índices de concordância e correlação linear utilizados (d, r, EF, EAM e RQEQM) foram altos, indicando que os resultados obtidos com tensiômetro de punção com leitura digital correspondem aos valores obtidos com o tensiômetro de mercúrio (Tabela 4). Contudo, maiores valores foram observados na parcela P1 e os menores na P4, o que sugere que, com o umedecimento do solo, o valor do potencial mátrico obtido com os dois sistemas de leitura tendem a resultados mais semelhantes. A perfeita concordância ocorre quando d, r e EF são iguais a 1,00 e EAM e RQEQM iguais a zero.

Tabela 4. Índices estatísticos para comparação do potencial mátrico da água no solo pelo tensiômetro de punção e leitura digital em relação ao tensiômetro de mercúrio.

Parcela	D	r	EF	RQEQM	EAM
P1	0,98	0,99	0,95	4,19	2,98
P2	0,97	0,95	0,92	7,57	5,54
P3	0,98	0,97	0,92	8,07	6,06
P4	0,96	0,94	0,88	9,70	6,83

d: índice de concordância de Willmott; r: coeficiente de correlação; EF: eficiência, RQEQM: raiz quadrada do erro do quadrado médio; EAM: erro absoluto médio.

Considerando o período de avaliação e os valores de umidade gravimétrica do solo, obtidos pela tensiometria e pela técnica da moderação de nêutrons, verifica-se que ambos os métodos respondem de maneira semelhante à variação (aumento ou diminuição) nos valores da umidade gravimétrica do solo (Figuras 9 e 10).

Os valores de umidade gravimétrica obtidos pela tensiometria foram mais semelhantes entre si e, na grande maioria das situações, maiores, quando comparados àqueles obtidos com a técnica de moderação de nêutrons (Figuras 9 e 10). Os menores valores de umidade gravimétrica obtidos quando utilizou-se a técnica de moderação de nêutrons podem ser atribuídas à perda de nêutrons para atmosfera (LAWLESS et al.,

1963). Além disso, o raio de influência da sonda de nêutrons é maior quando comparado aquele da cápsula porosa do tensiômetro, proporcionando medidas em maior volume de solo, com consequente maior variabilidade espacial. Sendo, portanto, a variabilidade espacial do solo mais um fator de variação de modo a influenciar os valores de umidade do solo.

A maior diferença entre os valores de umidade gravimétrica obtidos pela tensiometria e pela técnica da moderação de nêutrons foi observada na P4 (Figuras 9 e 10). Esse resultado indica que a resposta entre os métodos pode ser diferente, principalmente em condições de menor umidade do solo, cuja reposição de água não foi suficiente para elevar os valores da umidade gravimétrica do solo.

Observa-se que os valores de umidade gravimétrica, obtida pela técnica da moderação de nêutrons, diminuíram a partir de 15/08 na P4, enquanto que os valores obtidos por tensiometria não variaram (Figuras 9 e 10). Nessas condições, o tensiômetro apresenta limitação, pois o seu uso está restrito em medir valores do potencial até aproximadamente de -80 kPa.

Em condições de maior umidade, a tensiometria se mostrou adequada para estimar indiretamente a umidade gravimétrica no solo. Contudo, o tensiômetro de punção com leitura digital destacou-se em relação ao tensiômetro de mercúrio por apresentar operação e manutenção mais simples, proporcionar leitura menos influenciada pelo operador e não utilizar produto tóxico ou radioativo.

Os resultados do presente estudo indicam que o tensiômetro de punção com leitura digital pode ser usado para o monitoramento do potencial mátrico da água no solo em condições de campo, com resultados semelhantes àqueles obtidos com o tensiômetro de mercúrio. Contudo, recomenda-se manutenção periódica da borracha siliconada para evitar entrada de ar no sistema.

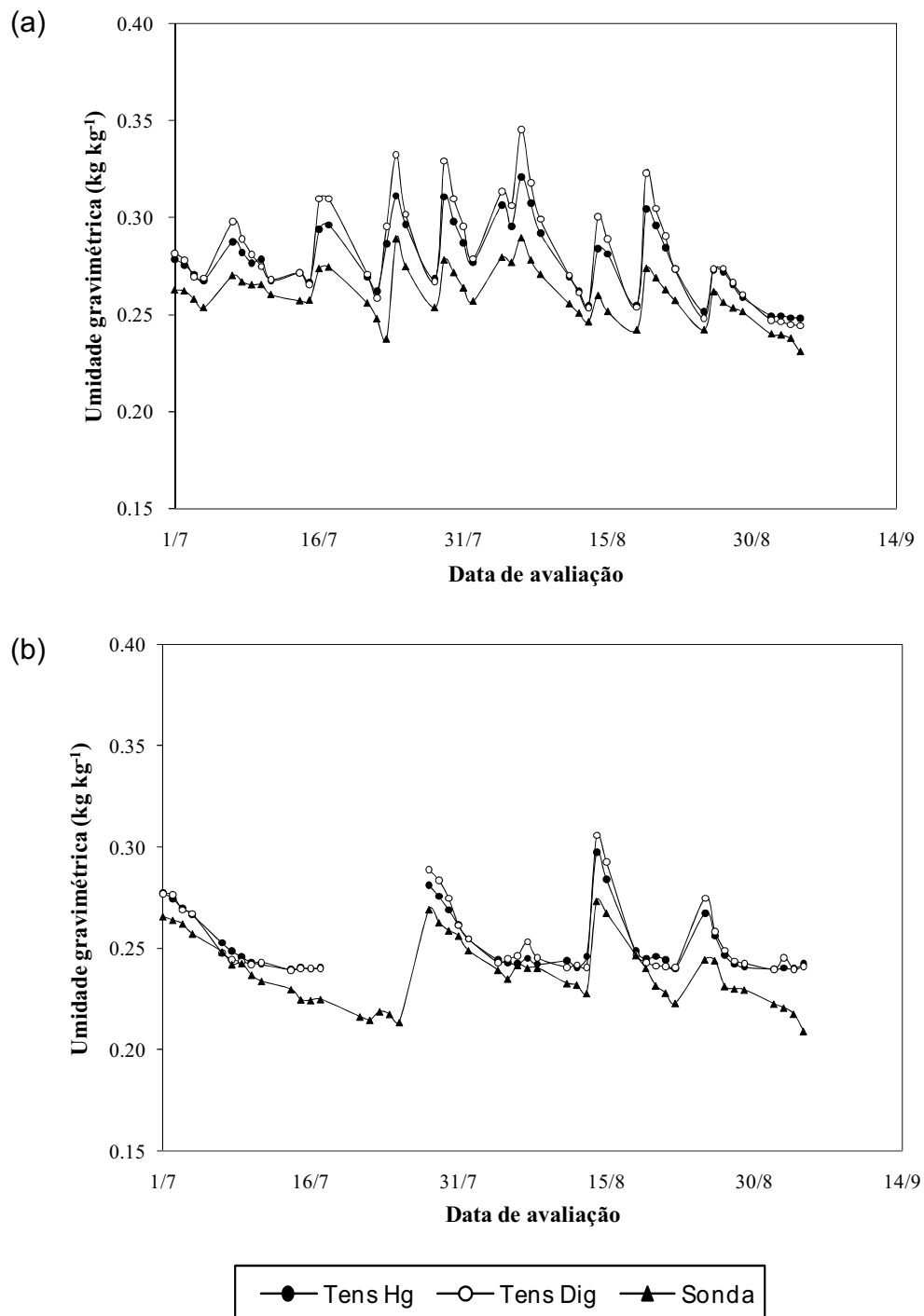


Figura 9. Valores médios da unidade gravimétrica determinada pelo tensiômetro de mercúrio (Tens Hg), tensiômetro de punção e leitura digital (Tens Dig) e moderação de nêutrons (Sonda) nas parcelas P1 (a) e P2 (b).

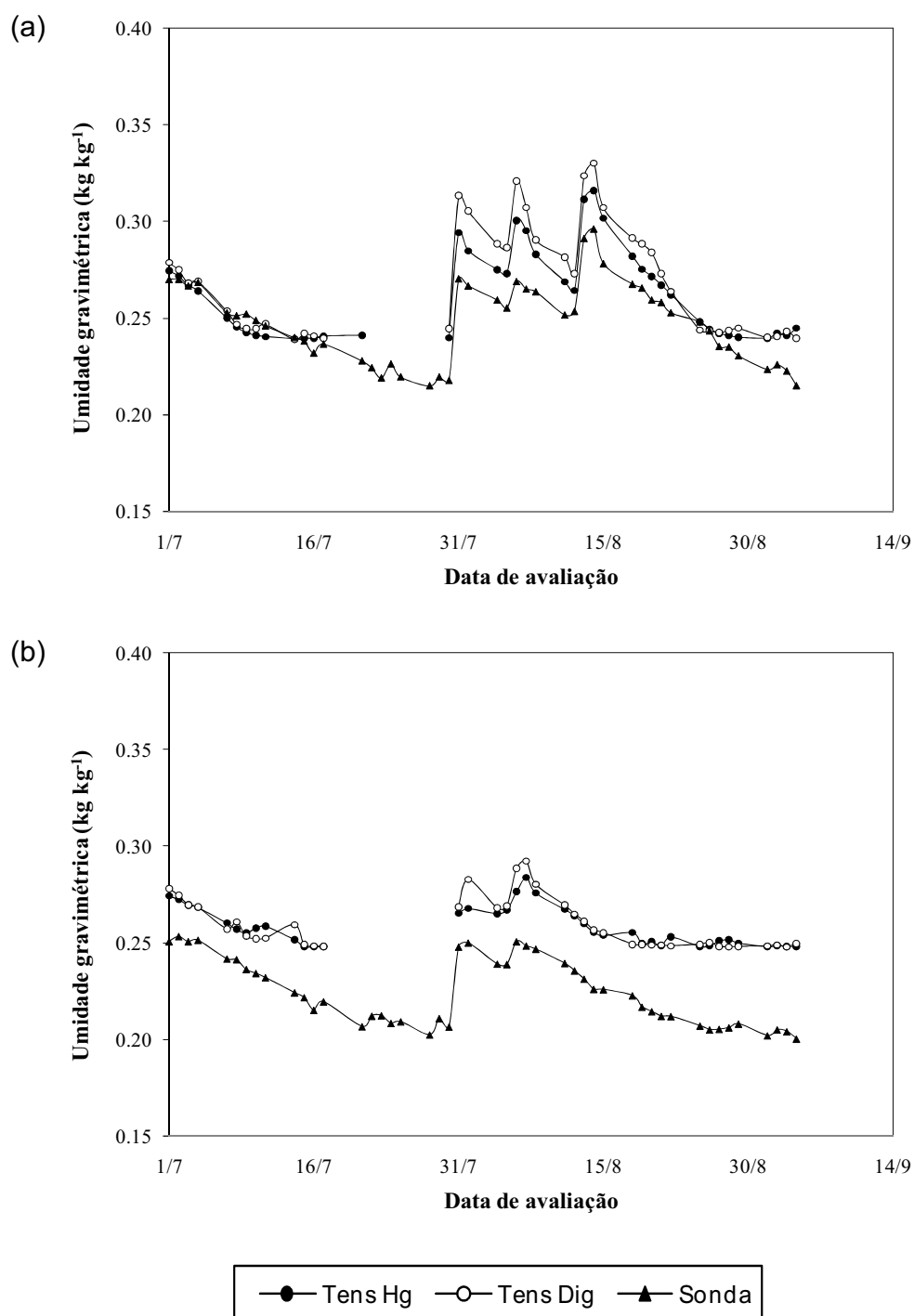


Figura 10. Valores médios da umidade gravimétrica determinada pelo tensiômetro de mercúrio (Tens Hg), tensiômetro de punção e leitura digital (Tens Dig) e moderação de nêutrons (Sonda) nas parcelas P3 (a) e P4 (b).

Em condições de menor umidade no solo (valores do potencial mátrico menores que -40 kPa) a técnica de moderação de nêutrons se mostrou mais eficiente, onde a tensiometria apresenta limitações, assim como na determinação da umidade do solo em maiores profundidades, em que não há ocorrência de perda de nêutrons para a atmosfera como se verifica na superfície do solo. Entretanto, levando em consideração que valores correspondentes aos potenciais mátricos da água no solo menores que -40 kPa não são adequados para o desenvolvimento da maioria das culturas e, sendo que a reposição de água para as plantas, via irrigação, é realizada, na grande maioria das situações, antes de se atingirem tais valores de potencial mátrico no solo, o tensiômetro pode ser utilizado para o monitoramento da umidade do solo.

2.4 CONCLUSÕES

A hipótese deste estudo foi confirmada, ou seja, os valores do potencial mátrico da água no solo medido com o tensiômetro de punção com leitura digital não apresentou diferença em relação aos valores obtidos pelo tensiômetro de mercúrio para potenciais maiores que -40 kPa.

Com ciclos de umedecimento e secamento do solo, o potencial mátrico obtido pelo tensiômetro de punção com leitura digital foi menor do que os valores obtidos tensiômetro de mercúrio.

CAPÍTULO 3 – ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o armazenamento de água no solo em sequências de culturas de verão e inverno sob semeadura direta. O experimento foi realizado em Jaboticabal-SP, em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão (rotação soja/milho e monocultura de milho e soja) e sete culturas de inverno (milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária). Após a semeadura das culturas de verão foram instalados tensiômetros nas camadas de 0,2; 0,4 e 0,6 m. A partir dos valores do potencial mátrico obtidos pelos tensiômetros e pela curva de retenção de água no solo foi determinada a umidade atual do solo. A partir da umidade atual foi calculado o armazenamento de água no solo entre o período de cultivo das sequências de verão e inverno. Após a colheita das culturas de verão foram avaliadas as quantidades de matéria seca dos resíduos vegetais na superfície do solo e a porcentagem de cobertura do solo. O armazenamento de água no solo não diferiu entre as sequências de culturas de verão. Em um período de baixa disponibilidade hídrica o armazenamento diário de água no solo diferiu entre as sequências de culturas semeadas no inverno. A sequência milho em monocultura no verão produziu maior quantidade de matéria seca de resíduos vegetais na superfície do solo. A maior quantidade de matéria seca de resíduos vegetais na superfície do solo não influenciou o armazenamento de água no solo.

Palavras-Chave: água no solo, manejo do solo, plantas de cobertura.

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD) é considerado um sistema conservacionista de grande importância para a sustentabilidade da agricultura, pois além de diminuir os riscos de erosão e aumentar a agregação das partículas do solo promove efeitos benéficos na fertilidade do solo por meio do aumento na reciclagem de nutrientes e do aumento dos teores de carbono orgânico.

O SSD apresenta como premissa o não revolvimento periódico do solo aliado à manutenção permanente de resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

A constante adição de resíduos sobre a superfície do solo no SSD melhora a estabilidade estrutural do solo, reduz a formação de adensamento superficial e compactação, aumenta a infiltração e percolação de água e aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo.

O emprego do SSD implica o conhecimento e definição das espécies para cobertura, as quais devem ter boa produção de biomassa e ser suficientemente persistentes, de modo que proporcione a proteção física do solo nos períodos de excesso ou escassez de água, resultando em benefícios para a cultura posterior. Assim, é de fundamental importância sua associação a um sistema de rotação de culturas diversificado como sequências de gramíneas com espécies leguminosas (DERPSCH et al., 1991).

No SSD, parte da cobertura do solo, é proveniente dos resíduos das culturas de verão, porém, as condições de temperatura e umidade predominantes nas regiões tropicais e subtropicais favorece a decomposição rápida do material orgânico adicionado ao solo (JENKINSON e AYANABA, 1977).

A presença da cobertura vegetal no solo possibilita melhores condições de conservação de umidade para o crescimento e o desenvolvimento das culturas, minimizando efeitos adversos decorrentes do déficit hídrico (SIDIRAS et al., 1983; DERPSCH et al., 1991). Dessa maneira, os resíduos vegetais produzidos pelas culturas anteriores, presentes na superfície do solo podem afetar o balanço hídrico das culturas.

WAGGER & DENTON (1992) observaram que a presença de resíduos na superfície do solo no sistema de semeadura direta, contribuiu para o maior armazenamento de água no solo.

Em sistemas de semeadura direta com cobertura de resíduos vegetais há maior eficiência no uso da água devido ao aumento da retenção de água no solo e redução da evaporação, obtendo maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada (STONE & MOREIRA, 2000).

JI & UNGER (2001) concluíram que o aumento das quantidades de palha na cobertura do solo, aumenta o armazenamento de água, principalmente em situações de baixa precipitação.

ZHANG et al. (2007) verificaram em um Cambissolo que a cobertura com 8,0 Mg ha⁻¹ de palha proporcionou aumento de 5 a 8% no armazenamento de água e de 11 a 13% na diminuição na evaporação do solo, com aumento na produtividade de trigo. Salienta-se que as condições climáticas observadas no trabalho dos referidos autores indica que a disponibilidade de água é bem reduzida com precipitação anual de 582 mm.

ZHANG et al. (2009) salientam que o maior efeito da cobertura com resíduos vegetais foi observado em um período de seca, o qual apresentou o maior conteúdo de água no solo quando comparado com o solo descoberto.

A maioria dos trabalhos na literatura indica maior conteúdo de água no sistema de semeadura direta comparado com sistemas não conservacionistas. Entretanto, LAMPURLANÉS et al. (2002) não verificaram diferenças no conteúdo de água no solo, em um experimento sob semeadura direta em relação ao cultivo mínimo e a escarificação do solo.

CENTURION & DEMATTÊ (1985) avaliaram os efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas do solo, concluíram que o sistema de semeadura direta propicia maior homogeneidade estrutural ao solo e, resultando em maior conteúdo de água para as plantas. Esse resultado foi atribuído na melhoria da estrutura e da porosidade do solo.

SIDIRAS et al. (1983) verificaram em um Latossolo Vermelho distroférico que, sob o sistema de semeadura direta, o solo reteve de 36% a 45% mais água disponível para as culturas, reduzindo as perdas de água por evaporação e aumentando o armazenamento de água no solo.

DALMAGO et al. (2010) avaliaram o armazenamento de água no solo sob semeadura direta e semeadura convencional. Verificaram que o sistema de semeadura direta mantém por período mais prolongado maior armazenamento de água no solo em relação ao sistema convencional.

A quantidade de água no solo depende da habilidade das raízes das plantas em absorver a água do solo com que estão em contato, bem como das propriedades do solo no fornecimento e na transmissão dessa água até as raízes. Assim, verifica-se que a disponibilidade de água depende de fatores do solo, como condutividade hidráulica, difusidade, umidade e potencial mátrico; da planta, como densidade de raízes, profundidade, área foliar, cobertura proporcionado pelos resíduos vegetais e da atmosfera como radiação, déficit de saturação e vento.

As diferenças observadas na literatura entre o armazenamento de água no solo sob SSD e o plantio convencional são evidentes, porém, é necessário conhecer quais sequências de culturas proporcionam maior armazenamento de água no solo, principalmente, em épocas que ocorre menor disponibilidade hídrica no solo.

A hipótese do presente trabalho foi que o armazenamento de água no solo difere entre sequências de culturas de verão e de inverno sob semeadura direta. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o armazenamento de água no solo em sequências de culturas de verão e inverno sob semeadura direta.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

As coordenadas geográficas do local são 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude média de 595 m (Figura 1). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1425 mm, concentrada no período de outubro a março, temperatura média anual de 22°C e umidade relativa do ar de 70%.



Figura 1. Localização geográfica e vista aérea do experimento em junho de 2008. Jaboticabal, SP.

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, A moderado, hipoférico, relevo suave ondulado, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Antes da instalação do experimento, a área foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema convencional de preparo de solo por período de aproximadamente 20 anos.

Na implantação do experimento, em setembro de 2002, visando corrigir possíveis impedimentos físicos e químicos do solo, foram realizadas a operação de subsolagem do solo a 40 cm de profundidade e calagem para elevação da saturação por bases do solo para 65%. A incorporação do calcário com PRNT de 100%, aplicado na dose de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, foi realizada por operações de aração e gradagem. Em julho de 2005, efetuou-se calagem superficial, com aplicação de calcário com PRNT de 70% na dose de $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, sem a incorporação do corretivo, visando elevação da saturação por bases do solo novamente para 65%.

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de inverno, totalizando 21 parcelas por bloco experimental. Na Figura 2 é apresentado o esquema da disposição das parcelas experimentais.

As sequências de culturas de verão foram: RT - rotação soja/milho, com cultivos intercalados ano a ano de soja e milho; MV - monocultura de milho (*Zea mays* L.) e SV - monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill); As culturas de inverno foram: milho, girassol (*Helianthus annuus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), feijão guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalaria comum (*Crotalaria juncea*

L.), semeadas em fevereiro-março (safrinha), repetindo-se a cada ano agrícola a mesma cultura de inverno na mesma parcela.

Cada parcela experimental ocupou uma área de 600 m² (40 m de comprimento por 15 m de largura). As bordaduras das parcelas corresponderam aos 10 m iniciais e finais do comprimento e aos 2,5 m das laterais, ficando a área útil de cada parcela com 200 m² (20 m x 10 m). As dimensões das parcelas, assim como das bordaduras, foram planejadas para viabilizar a mecanização de todas as operações exigidas durante a condução do experimento.

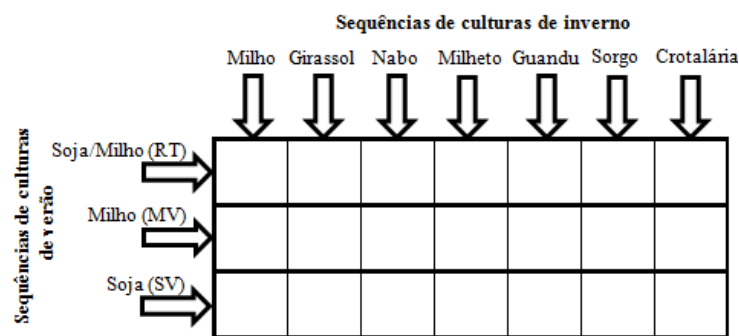


Figura 2. Disposição das parcelas experimentais nas sequências de culturas de verão e de inverno.

3.2.3 Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado em setembro de 2002 e conduzido pelos anos agrícolas 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009. No ano agrícola 2004/2005, em decorrência da irregularidade das chuvas, as culturas de inverno não foram implantadas, permanecendo a área sob pousio. As sequências dos cultivos na área experimental, desde a implantação do experimento em setembro de 2002 encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Os resultados apresentados no presente estudo referem-se às avaliações do ano agrícola 2008/2009. Portanto, os resultados aqui obtidos são referentes ao sexto ano de implantação do sistema de semeadura direta.

Os valores de precipitações acumuladas e temperaturas médias mensais, de janeiro de 2003 a janeiro de 2010, encontram-se na Figura 3.

Tabela 1. Histórico das seqüências de culturas de verão e de inverno.

FX ⁽¹⁾	Anos agrícolas ⁽²⁾													
	-- 2002/2003 --		-- 2003/2004 --		-- 2004/2005 --		-- 2005/2006 --		-- 2006/2007 --		-- 2007/2008 --		-- 2008/2009 --	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
RT		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho
		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol
		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo
	Soja	Milheto		Milheto	Soja	Milheto		Milheto		Milheto	Milho	Milheto	Soja	Milheto
		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu
		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo
		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária
MV		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho
		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol
		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo
	Milho	Milheto		Milheto	Milho	Milheto		Milheto		Milheto	Milho	Milheto		Milheto
		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu
		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo
		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária
SV		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho		Milho
		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol		Girassol
		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo		Nabo
	Soja	Milheto		Milheto	Soja	Milheto		Milheto		Milheto	Soja	Milheto	Soja	Milheto
		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu		Guandu
		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo		Sorgo
		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária		Crotalária

⁽¹⁾FX= Seqüências de verão; RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. ⁽²⁾
 No ano agrícola 2004/2005 as culturas de inverno não foram semeadas, somente as culturas de verão.

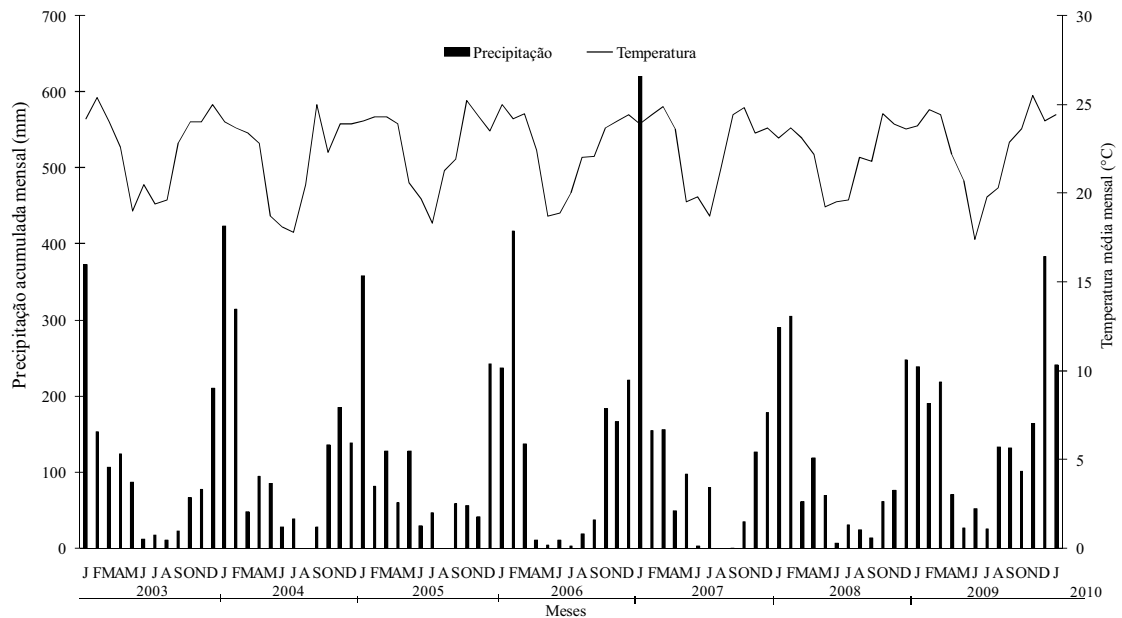


Figura 3. Precipitações acumuladas e temperaturas médias mensais, para o período de janeiro de 2003 a janeiro de 2010.

3.2.3.1 Culturas de verão

A operação de semeadura de milho (sequência MV) e soja (sequências RT e SV) foi realizada mecanicamente em sistema de semeadura direta respectivamente em 24/10/2008 e 08/11/2008, período cujas condições de umidade do solo encontraram-se favoráveis para tal.

O cultivar de soja utilizado nos tratamentos pertencentes às sequências RT e SV foi a COODETEC 216 (ciclo precoce), no espaçamento de 0,45 m entrelinhas com densidade de 22 sementes por metro, visando obter população de aproximadamente 480.000 plantas ha^{-1} . As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação de semeadura constituiu de 300 kg ha^{-1} da fórmula 0-20-20.

Na sequência MV foi utilizado o híbrido AG-9010 (ciclo super precoce), visando uma população de aproximadamente 66.000 plantas ha^{-1} . O espaçamento utilizado foi de 0,90 m entrelinhas com densidade de semeadura de seis sementes por metro. A adubação de semeadura constituiu de 300 kg ha^{-1} da fórmula 8-20-20. Na adubação de cobertura foram utilizados 200 kg ha^{-1} de uréia.

Foi utilizado para as culturas com espaçamento de 0,45 m a semeadora modelo Jumil Exacta Air 2640 PD com 5 linhas de semeadura, com discos duplos desencontrados, e a semeadora modelo Tatu Cop Suprema com 4 linhas de semeadura para as culturas com espaçamento de 0,90 m, ambas acopladas a um trator modelo Massey Ferguson 620.

3.2.3.2 Culturas de inverno

A semeadura das culturas de inverno foi realizada em 17 e 18/03/2009 com as mesmas semeadoras utilizadas na semeadura das culturas de verão. Não foi realizada a adubação de plantio.

O milho e o girassol foram semeados com 0,90 m de espaçamento entrelinhas, visando populações finais de 55 mil e 88 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. Foi utilizado o milho AG-9010 e o girassol HÉLIO 358.

As demais culturas de inverno foram semeadas com 0,45 m de espaçamento entrelinhas visando populações de 555 mil plantas ha^{-1} para nabo forrageiro (cultivar Seletina) e crotalária juncea comum; 665 mil plantas ha^{-1} para milheto (cultivar BN-2) e feijão guandu anão; e 175 mil plantas ha^{-1} para sorgo granífero (1G-150).

O controle de pragas, doenças e plantas daninhas das culturas de verão e de inverno foi realizado quando necessário, utilizando-se produtos e doses recomendados pelos fabricantes.

As culturas de milho, girassol e sorgo foram conduzidas até a colheita dos grãos. As culturas do nabo forrageiro, milheto, guandu e crotalária foram manejadas com triturador de resíduos vegetais (triton) por ocasião do pleno florescimento.

Durante a condução do experimento, antecedendo a semeadura das culturas de verão e de inverno, os restos culturais foram triturados com utilização de triturador de resíduos vegetais (triton), visando distribuir e uniformizar a cobertura do solo.

3.2.4 Avaliações

3.2.4.1 Determinação do potencial mátrico da água no solo

Em 21/12/2008 foram instaladas no centro das parcelas experimentais e na entre linha das culturas um tensiômetro de punção e leitura digital por parcela experimental nas camadas de 0,2; 0,4 e 0,6 m, medida do nível do solo ao centro da cápsula. Os tensiômetros foram instalados com o auxílio de um trado de rosca, em linha, distanciados entre si de 0,15 m.

Baseado nos resultados obtidos anteriormente e apresentados no Capítulo 2 foi utilizado o tensiômetro de punção e leitura digital por apresentar operação e manutenção mais simples e proporcionar leitura menos influenciada pelo operador.

Os tratamentos foram constituídos por 21 parcelas experimentais por bloco experimental, totalizando 63 parcelas nos três blocos. Portanto, foram avaliados diariamente 63 tensiômetros em cada camada, perfazendo um total de 189 tensiômetros. Especificações sobre os tensiômetros utilizados podem ser encontrada no Capítulo 2.

As leituras do potencial mátrico da água no solo foram realizadas diariamente entre às 6 e 8 h, no período de 06/01/2009 até a colheita das culturas de verão, que ocorreu nos dias 03 e 04/03/2009. O número total de dias avaliados durante a sequência de verão foi de 42 dias.

Entre o período de instalação dos tensiômetros no solo (21/12/2008) até o início de registro das leituras (06/01/2009) os tensiômetros foram monitorados para detectar possíveis falhas.

Os tensiômetros não foram retirados das parcelas experimentais durante a colheita das culturas de verão e semeadura das culturas de inverno, assim como, no

manejo dos resíduos vegetais antecedendo a semeadura das culturas de inverno. Como as operações foram mecanizadas, tomou-se o devido cuidado para que as máquinas e implementos não danificassem os tensiômetros.

A área experimental permaneceu sob pousio entre o período da colheita das culturas de verão (03 e 04/03/2009) até 15/03/2009, quando, foi realizada a semeadura das culturas de inverno. No plantio das culturas de inverno tomou-se o cuidado para manter o mesmo número de plantas na área ao redor dos tensiômetros.

A avaliação do potencial mátrico da água no solo nas culturas de inverno foi iniciada em 16/03/2009 até o momento em que não foi possível obter leituras por meio da tensiometria em decorrência da baixa umidade do solo, que ocorreu a partir de 08/05/2009. O número total de dias avaliados durante a sequência de inverno foi de 41 dias.

O cálculo do valor do potencial mátrico da água no solo medido com o tensiômetro de punção e leitura digital seguiu a metodologia apresentada no Capítulo 2.

3.2.4.2 Determinação da curva de retenção de água no solo

Em março de 2009 foram coletadas amostras indeformadas de solo de cada parcela experimental tendo como ponto médio a camada de 0,2; 0,4 e 0,6 m. Foram utilizados anéis volumétricos de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura.

As amostras indeformadas de solo foram retiradas na mesma linha e distanciadas em 0,5 m dos tensiômetros, em duas replicações por camada. Portanto, em cada parcela experimental foram coletadas seis amostras indeformadas de solo, totalizando 378 amostras.

Após saturação, as amostras foram submetidas progressivamente às tensões de 2; 4; 6; 8; e 10 kPa, utilizando-se a mesa de tensão e 30; 100 e 1500 kPa, em câmara de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986).

Os procedimentos adotados em laboratório estão de acordo com metodologia apresentada no Capítulo 2.

3.2.4.3 Cálculo do armazenamento de água no solo

Por meio do monitoramento do potencial mátrico da água no solo e da elaboração da curva característica de retenção de água foi determinada a umidade atual do solo.

Para o cálculo do armazenamento diário de água no solo (ARM) foi considerada a umidade na tensão de 1500 kPa (θ_{pmp}) de cada camada, em cada parcela experimental, em relação à umidade atual (θ_{atual}), de acordo com a equação 1.

$$ARM = (\theta_{atual} - \theta_{pmp}) p \quad (1)$$

em que: *ARM* é o armazenamento diário de água no solo (mm); θ_{atual} é a umidade atual do solo a base de volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_{pmp} é a umidade do solo a base de volume no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e *p* é a camada do solo em estudo (mm).

A partir do armazenamento diário de água no solo em cada camada foi calculado o armazenamento acumulado de água no solo (*ARM ac*), no período compreendido entre o cultivo das sequências de verão (janeiro a março de 2009) e as sequências de inverno (março a maio de 2009), de acordo com a equação 2.

$$ARM \text{ ac} = \sum_{i=1}^n ARM \quad (2)$$

em que: *ARM ac* é o armazenamento acumulado de água no solo em cada camada (mm); *n* é número de dias avaliados.

3.2.4.4 Quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo

A avaliação da quantidade de matéria seca dos resíduos vegetais na superfície do solo foi realizada após a colheita das culturas de verão em 5/03/2009, antes da semeadura das culturas de inverno e manejo dos restos culturais com o triturador de resíduos vegetais (triton).

Salienta-se que os resíduos vegetais avaliados na ocasião constituíam-se por resíduos das culturas de verão daquele ano e por resíduos de cultivos anteriores, presentes na superfície do solo.

Foram coletadas as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo em cinco pontos ao acaso dentro de cada parcela, utilizando-se um quadrado de amostragem (0,5 x 0,5 m), totalizando 1,25 m² por parcela. O material coletado foi seco em estufa com circulação forçada de ar (65 °C) e após atingir peso constante, determinou-se a matéria seca do material em Mg ha⁻¹.

Além das quantidades de matéria seca, também foi avaliada a porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos resíduos das culturas. Foi utilizado o método da transeção linear, conforme proposto por SLONEKER & MOLDENHAUER (1977). O método consistiu em estender uma corda com 10 m de comprimento sobre o solo e marcar os pontos (cerca de 50) equidistantes (no caso, 0,2 m). A corda foi posicionada no centro da parcela experimental em diagonal "x". Foram realizadas duas repetições por parcela. Verificou-se nos pontos identificados na corda a presença ou ausência de palha. De posse destes resultados obteve-se a porcentagem média de cobertura do solo.

3.2.4.5 Quantificação da lâmina de água proveniente de chuvas

Foi instalado um pluviômetro em cada bloco experimental para quantificar a lâmina de água proveniente de chuva, durante a condução do experimento. O

fornecimento de água durante o período de estudo foi proveniente exclusivamente da precipitação natural.

3.2.5 Análise dos dados

Os dados do armazenamento acumulado de água no solo no período compreendido de janeiro a março (sequências de verão) e de março a maio (sequências de inverno) de 2009, assim como os dados referentes às quantidades de matéria seca dos resíduos vegetais foram submetidos à análise de variância, sendo o resultado significativo ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Armazenamento de água no solo no período de janeiro a março de 2009

O maior valor do armazenamento de água no solo foi observado após a ocorrência de chuvas, com exceção da ocorrida entre os dias 15/2 e 20/2 (Figuras 4 e 5).

Salienta-se que em apenas um dia a altura pluviométrica atingiu 120 mm, nessa condição é importante a cobertura do solo, protegendo a superfície contra o impacto da gota da chuva (Figuras 4 a 7).

Não foi observada diferença para o armazenamento acumulado de água no solo entre as sequências de culturas de verão (Tabela 2).

O armazenamento diário de água no solo entre as sequências de culturas de verão e inverno não apresentam grandes variações entre si (Figuras 4 a 7). Entretanto, a partir de 15/02, nota-se maior diferença no armazenamento diário de água no solo entre as sequências de culturas de verão (Figuras 4 e 5).

Os menores valores do armazenamento diário e acumulado de água no solo ocorreram na camada de 0,2 m comparado com as demais (Tabela 2). Isso pode ser atribuído a maior evaporação de água no solo nessa camada e também pela maior parte do sistema radicular da soja e do milho estar concentrada nesta camada.

O sistema radicular da soja, em condições normais de cultivo, está distribuído quase totalmente nos primeiros 0,15 m do solo (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

SEIXAS et al. (2005) verificaram que a profundidade do sistema radicular pela cultura do milho foi de 0,80 m, com densidade maior de raízes até a camada de 0,2 m, em solo sem camada compactada. Portanto, comparado ao sistema radicular do milho, a distribuição do sistema radicular da soja é mais superficial.

FIORIN et al. (1997) verificaram que a capacidade de armazenamento de água na região de distribuição do sistema radicular é altamente correlacionada com o rendimento de grãos da cultura do milho.

Assim, para culturas que apresentam um sistema radicular mais superficial ou que as raízes permaneçam distribuídas em sua maior parte em uma única camada mais superficial é importante a manutenção e cobertura do solo com resíduos vegetais, principalmente em períodos de ocorrência de déficit hídrico ou com distribuição irregular das precipitações pluviais.

O armazenamento acumulado de água no solo entre as sequências de culturas de inverno, diferiu para camada de 0,6 m (Tabela 2). O maior armazenamento de água no solo foi observado sob a parcela cultivada com milho, porém este não diferiu das demais, com exceção da parcela cultivada no inverno com nabo forrageiro que apresentou o menor armazenamento de água no solo.

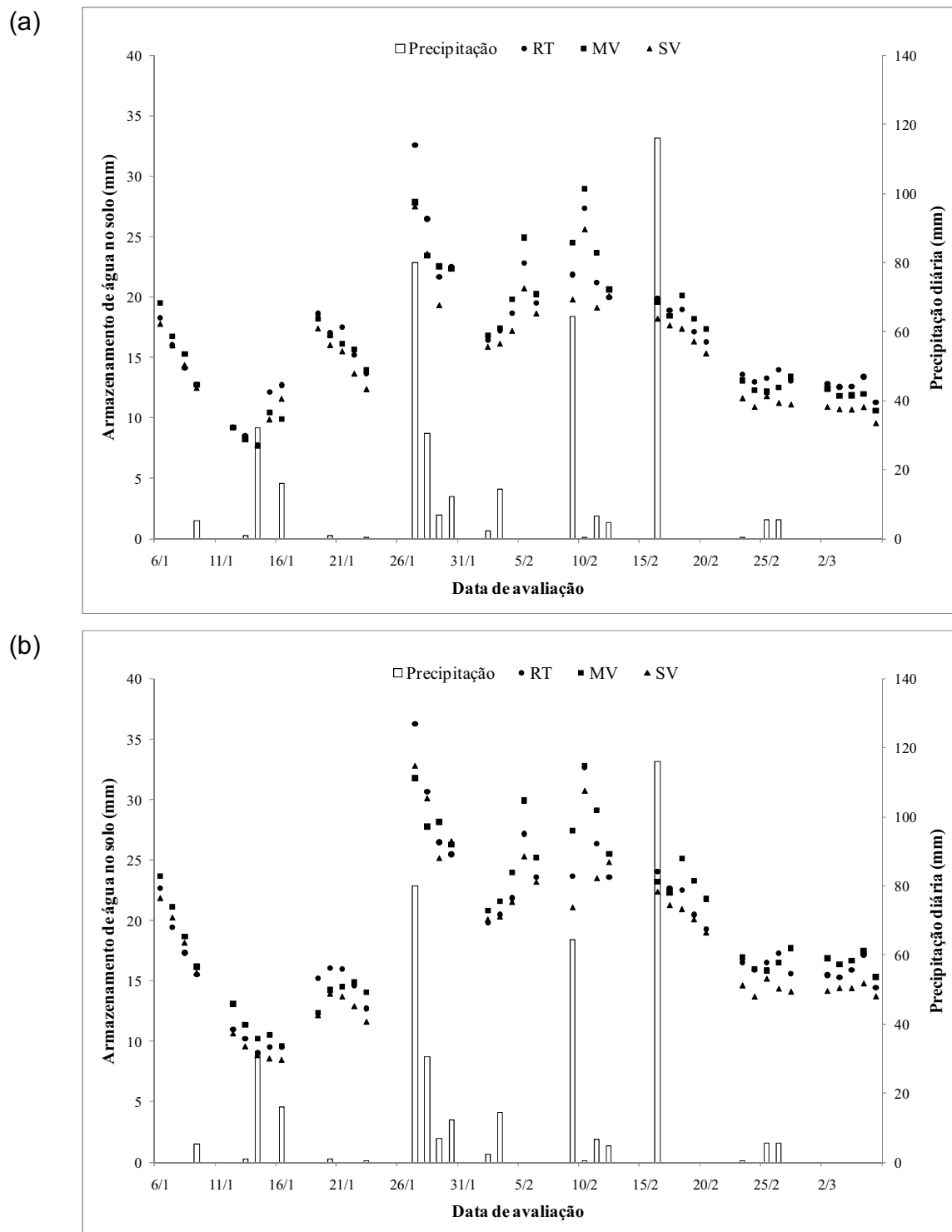


Figura 4. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de verão, na camada de 0,2 m (a) e 0,4 m (b) no período de janeiro a março de 2009.

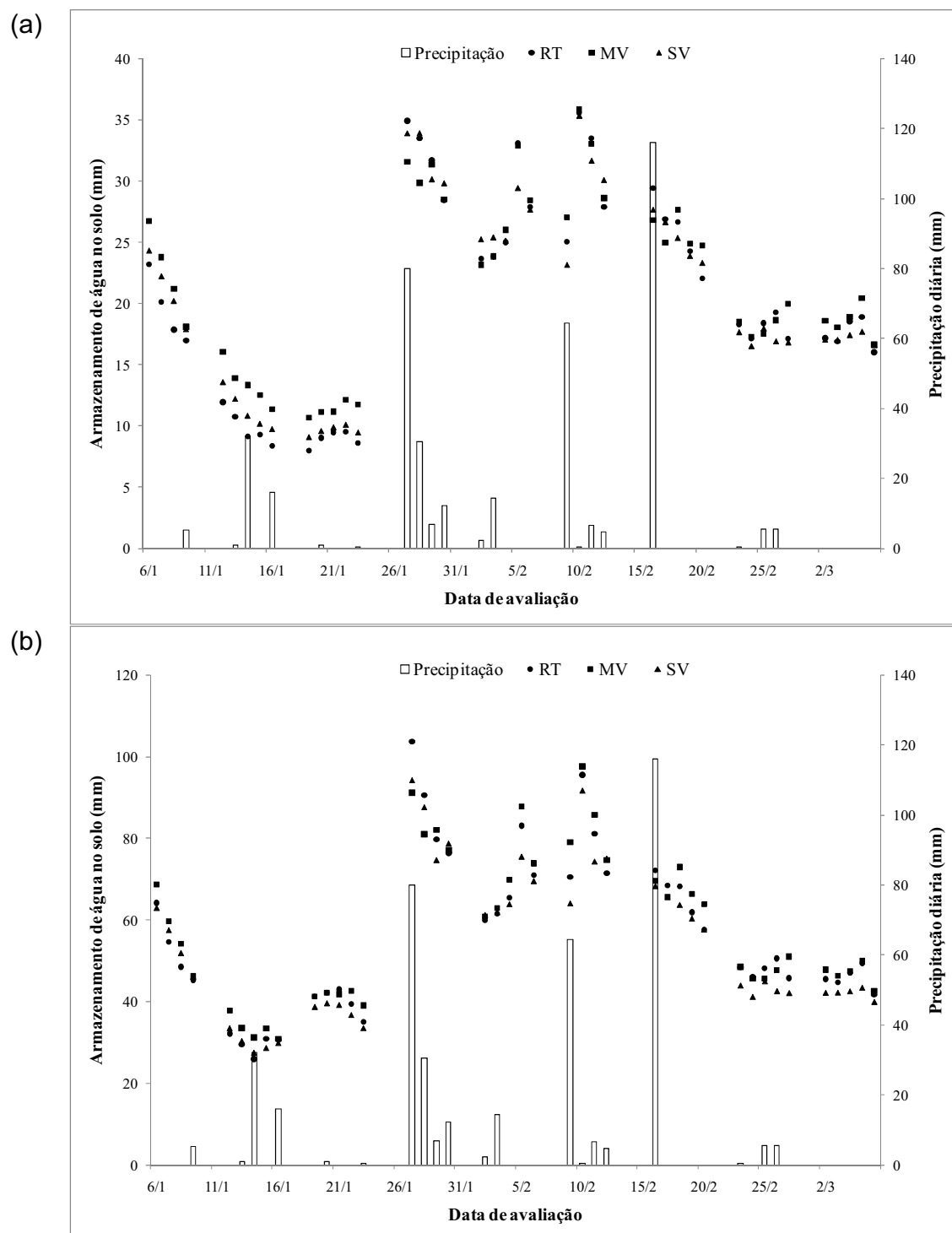


Figura 5. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de verão, na camada de 0,6 m (a) e 0,2-0,6 m (b) no período de janeiro a março de 2009.

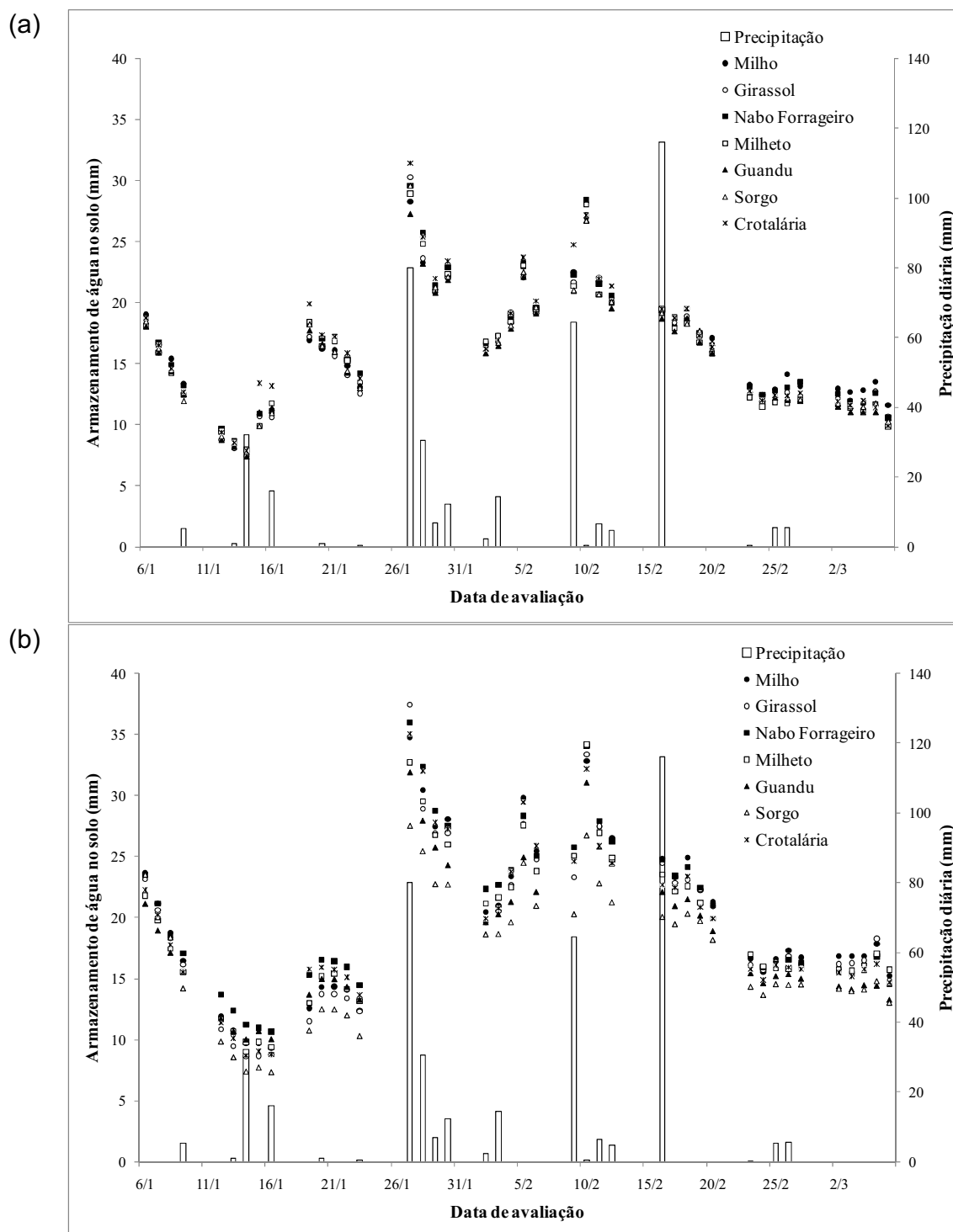


Figura 6. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de inverno, na camada de 0,2 m (a) e 0,4 m (b) no período de janeiro a março de 2009.

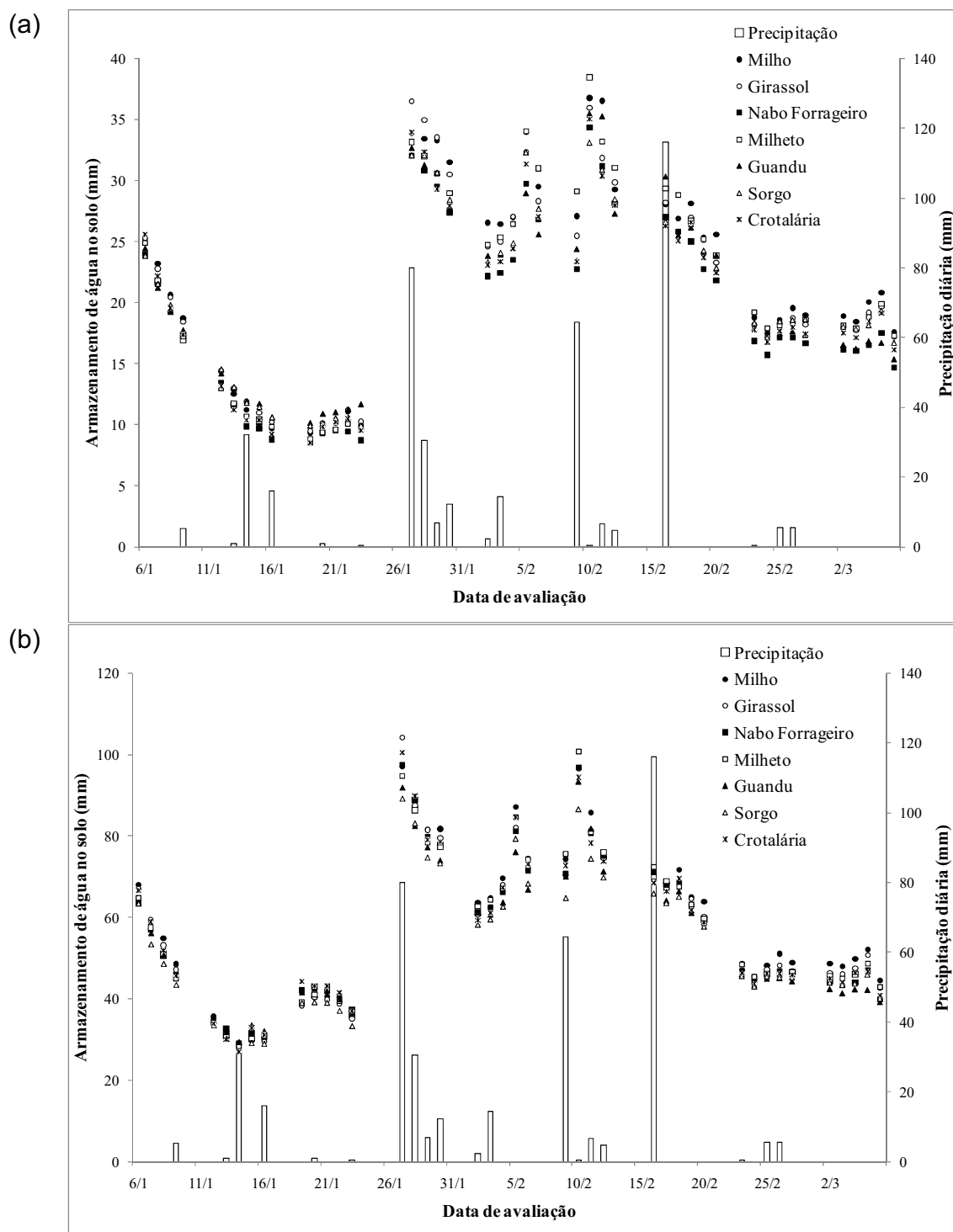


Figura 7. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de inverno, na camada de 0,6 m (a) e 0,2-0,6 m (b) no período de janeiro a março de 2009.

Tabela 2. Armazenamento acumulado de água no solo no período compreendido de janeiro a março de 2009, na camada de 0,2 m; 0,4 m; 0,6 m e 0,2-0,6 m.

Sequências de culturas	Camada (m)			
	0,2	0,4	0,6	0,2-0,6
Verão ⁽¹⁾	-----mm-----			
RT	701	791	860	2352
MV	693	829	895	2417
SV	650	763	877	2293
F ⁽²⁾	0,79 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV (%)	20,7	18,5	13,1	12,9
Inverno	-----mm-----			
Milho	688	819	924a	2446
Girassol	665	830	895ab	2370
Nabo Forrageiro	708	826	824b	2368
Milheto	674	788	902ab	2385
Guandu	659	726	867ab	2298
Sorgo	673	770	871ab	2240
Crotalária	702	803	857ab	2374
F ⁽²⁾	0,39 ^{ns}	0,89 ^{ns}	2,65*	1,68 ^{ns}
CV(%)	13,0	14,7	6,8	6,5
Interação (V x I)	1,59 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,29 ^{ns}

⁽¹⁾: RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. ⁽²⁾: * = significativo (p<0,05). ns = não significativo (p>0,05). Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Espécies como nabo forrageiro, guandu e crotalária apresentam sistema radicular pivotante, pelo fato das raízes crescerem em maiores profundidades é possível que os cultivos anteriores com estas espécies tenha proporcionado aumento de bioporos resultando na formação de canais contínuos ao longo do perfil do solo. Estes bioporos podem criar condições de acesso às raízes de soja e milho da água armazenada nas camadas subsuperficiais (TORMENA et al. 2004). Assim, o maior volume explorado pelas raízes de soja e de milho pode ter diminuído a água armazenada no solo, como observado na parcela cultivada com nabo forrageiro (Tabela 2).

WILLIANS & WEIL (2004) verificaram que as raízes do nabo forrageiro, após a sua senescência (morte e decomposição), formaram canais no solo, e que as raízes da soja cultivada em sequência apresentaram crescimento preferencial nestes canais, facilitando seu aprofundamento no perfil e exploração de maior volume de solo.

Verifica-se diferença de 124 mm entre a sequência MV (2417 mm) e a sequência SV (2293 mm) no armazenamento acumulado de água no solo no período para a camada de 0,2-0,6 m (Tabela 2). Considerando o período total de avaliação (42 dias), verifica-se que o armazenamento médio de água no solo na sequência MV para a camada de 0,2-0,6 m foi de 57 mm e para sequência SV de 54 mm, isto representa variação média diária de 3 mm dia⁻¹.

A necessidade de água na cultura da soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração e enchimento de grãos e pode variar de 7 a 8 mm dia⁻¹ (EMBRAPA, 2008). Portanto, a variação diária observada entre as sequências MV e SV representa aproximadamente 50% da necessidade máxima que a cultura da soja necessita durante o seu desenvolvimento.

Sabe-se que os valores de consumo relativo de água para a cultura da soja são menores do que para a cultura do milho (MATZENAUER, 2003). O consumo relativo de água indica a quantidade de água que a planta consome, em relação à quantidade máxima de água que a planta consumiria, na ausência de restrição hídrica.

DOORENBOS & KASSAN (1994) sugerem que a cultura de milho de ciclo médio requer no mínimo 500 mm para produção satisfatória sem o uso de irrigação. Já para a soja, para obter elevadas produtividades, é necessário no mínimo 450 mm, dependendo do clima e duração do período de crescimento (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Assumindo que a evaporação da água no solo tenha sido a mesma para as sequências de verão era de se esperar menor armazenamento de água no solo na sequência MV, devido as maiores necessidades hídricas para a cultura do milho, o que não ocorreu no presente estudo. Assim, a presença dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo pode ter contribuído para a menor evaporação e conseqüentemente o maior armazenamento de água no solo na sequência MV.

3.3.2 Quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo

Nesta avaliação o material coletado na superfície do solo constituiu-se por resíduos das culturas de verão e por resíduos de cultivos anteriores, portanto, representa a quantidade de resíduos vegetais acumulada desde a implantação do experimento.

Foram observadas diferenças para a quantidade de matéria seca dos resíduos vegetais na superfície do solo entre as sequências de culturas de verão, cujas parcelas cultivadas anteriormente com soja proporcionaram menores valores (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de matéria seca dos resíduos vegetais na superfície do solo, após a colheita das culturas de verão.

Sequências de Culturas Verão (V) ⁽¹⁾	Matéria seca (Mg ha ⁻¹)
RT	5,3 b
MV	10,2 a
SV	5,7 b
F ⁽²⁾	163,01**
CV (%)	13,5
Inverno (I)	
Milho	7,0
Girassol	6,2
Nabo forrageiro	7,1
Milheto	7,4
Guandu	7,3
Sorgo	7,3
Crotalária	7,1
F ⁽²⁾	1,02 ^{ns}
CV(%)	16,0
Interação (V x I)	1,03 ^{ns}

⁽¹⁾: RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. ⁽²⁾: ** = significativo (p<0,01). ns = não significativo (p>0,05). Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Esse resultado era esperado, devido ao fato de o milho ser uma gramínea e produzir elevada quantidade de matéria seca que se degrada lentamente.

Salienta-se que a soja possui em seus tecidos uma relação média C/N de 16:1 (SPAGNOLLO et al., 2002) e o milho 76:1 (BERTOL et al., 2004). Portanto, com a decomposição mais rápida, mais desprotegida é a superfície do solo, maior é a taxa de

evaporação de água e como consequência menor será o armazenamento da água no solo.

Entretanto, mesmo com a decomposição mais rápida dos resíduos de soja, isso pode contribuir para o armazenamento de água no solo a longo prazo, pois, com a decomposição dos resíduos vegetais, há formação de substâncias cimentantes, oriundas dos compostos orgânicos que estão associadas à formação dos macroagregados que são importantes na distribuição de poros do solo.

As quantidades de resíduos vegetais não diferiram entre as sequências RT e SV (Tabela 3). Esse resultado mostra que a rotação de culturas com soja e milho (RT) não contribuiu ao longo do tempo para o aumento e permanência do resíduo vegetal quando comparada com a monocultura de soja (SV), mesmo com a presença do resíduo do milho que apresenta degradação mais lenta. Assim, pode-se inferir que as condições climáticas do local do experimento influenciam à rápida decomposição dos resíduos vegetais deixados pelas culturas anteriores.

Os efeitos benéficos dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo serão aproveitados durante a semeadura e desenvolvimento das culturas de inverno, nesse sentido é importante boa produção de fitomassa durante a safra de verão.

Não foram observadas diferenças para a quantidade de matéria seca dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo entre as sequências de culturas de inverno (Tabela 3).

A avaliação da cobertura do solo indicou uma porcentagem de 100%, não diferindo entre os tratamentos, esse resultado indica que houve boa distribuição dos resíduos vegetais na parcela experimental provenientes das culturas de verão.

Segundo LOPES et al. (1987) é necessário, pelo menos, 7 Mg ha⁻¹ de matéria seca de palhada, uniformemente distribuída, para a cobertura plena da superfície do solo.

Para DENARDIN & KOCHHANN (1993) e por DAROLT (1998), 6 Mg ha⁻¹ de matéria seca é a quantidade mínima ideal de adição de matéria seca em um sistema de rotação de culturas, de maneira que se mantenha adequada a cobertura do solo.

Segundo ALVARENGA et al. (2001), pode se considerar que cerca de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de resíduos vegetais sobre o solo é uma quantidade adequada para proteger o solo da ação da chuva, mostrando a importância da cultura de milho na formação de palhada, que em média produz $8,1 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Portanto, os resultados obtidos no presente estudo na sequência milho em monocultura (MV) podem ser considerados suficientes para adequada cobertura do solo.

OLIVEIRA et al. (2002) constataram que o milheto, com produção de matéria seca acima de 14 t ha^{-1} , propiciou a maior proteção ao solo, maior conservação da água e menor variação da temperatura do solo.

A permanência de maior volume de palha das gramíneas, pode induzir efeitos benéficos principalmente durante a emergência e desenvolvimento vegetativo das culturas de inverno.

3.3.3 Armazenamento de água no solo no período de março a maio de 2009

O período de inverno é caracterizado pela diminuição da temperatura e de precipitação. Observa-se menor frequência e altura da lâmina precipitada quando comparada com o período de verão, o que era esperado para essa época do ano (Figuras 8 e 9).

Assim como observado no período do verão os maiores valores de armazenamento de água no solo foram verificados após a ocorrência de precipitação, (Figuras 8 a 11).

Há tendência de maior armazenamento de água no solo sob a sequência MV, principalmente a partir de 20/04, período caracterizado pela ausência de precipitação e diminuição gradual do armazenamento de água no solo (Figuras 8 e 9).

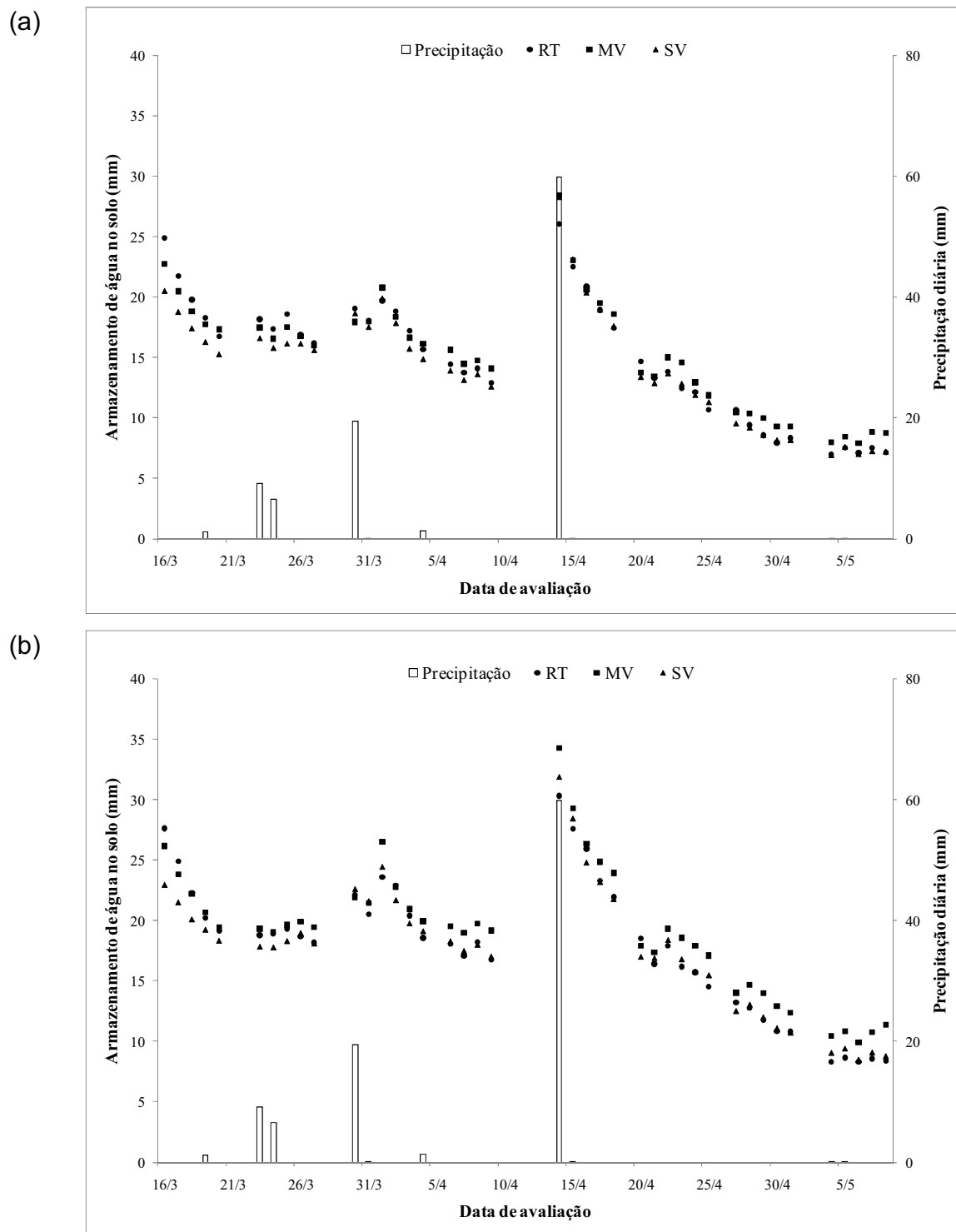


Figura 8. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de verão, na camada de 0,2 m (a) e 0,4 m (b) no período de março a maio de 2009.

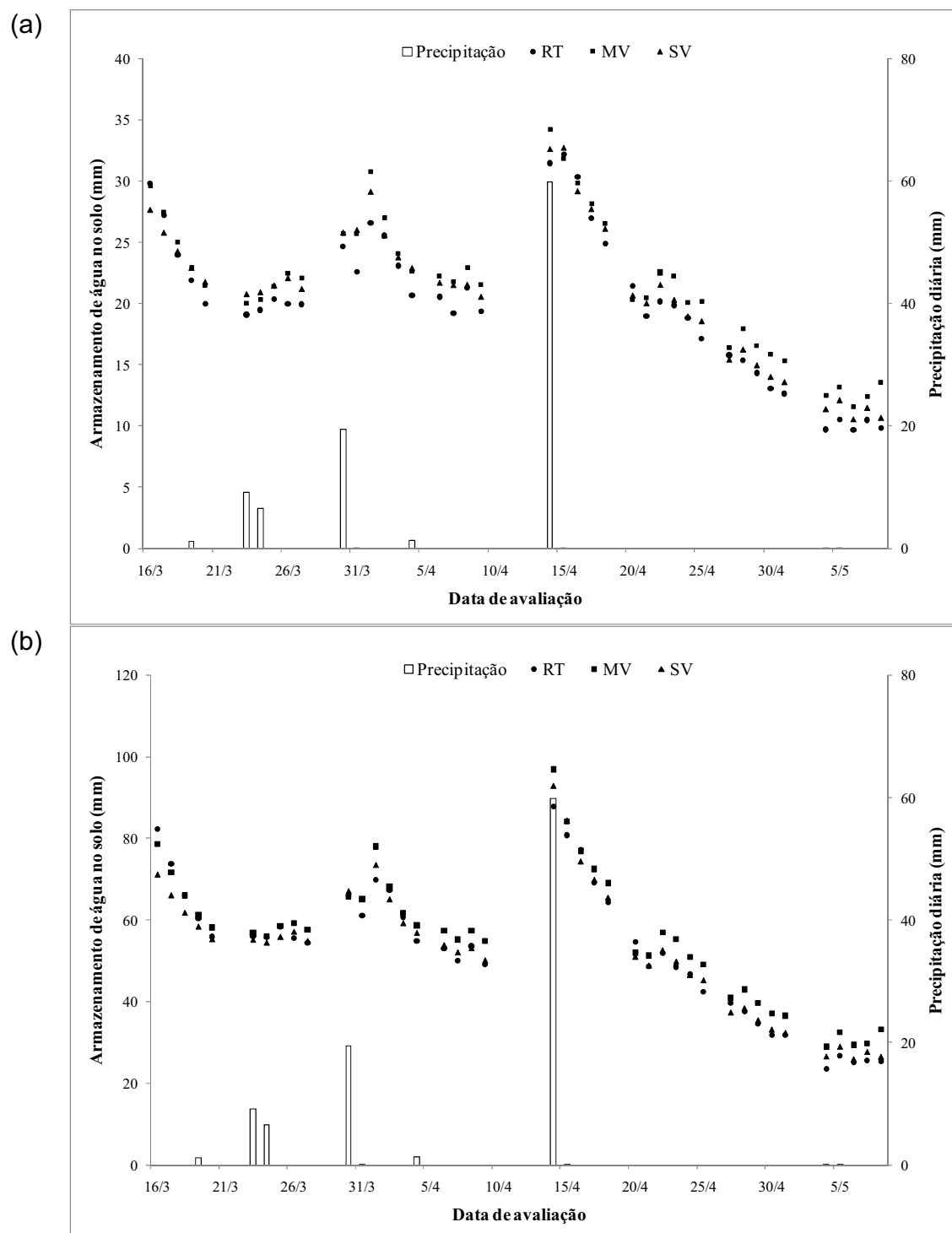


Figura 9. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de verão, na camada de 0,6 m (a) e 0,2-0,6 m (b) no período de março a maio de 2009.

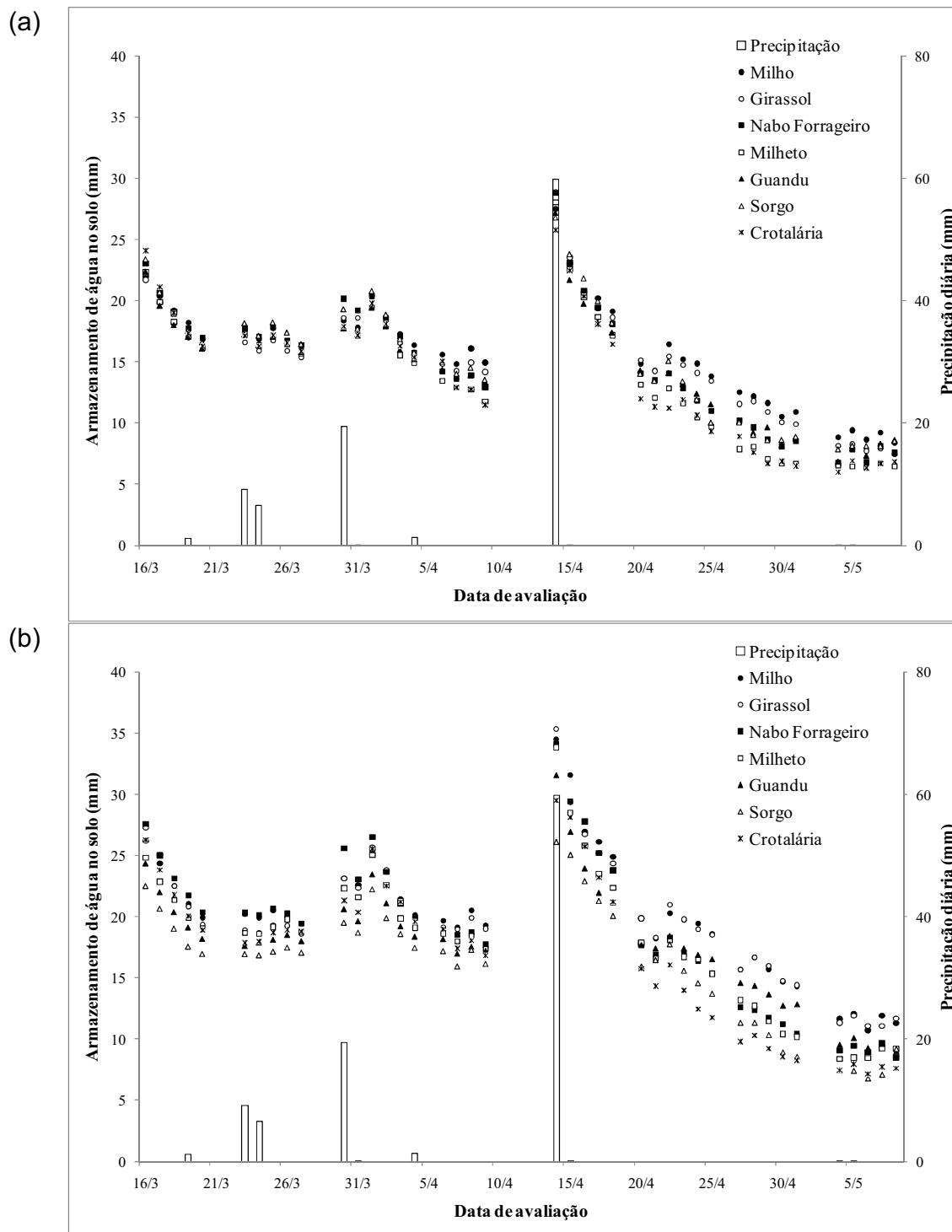


Figura 10. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de inverno, na camada de 0,2 m (a) e 0,4 m (b) no período de março a maio de 2009.

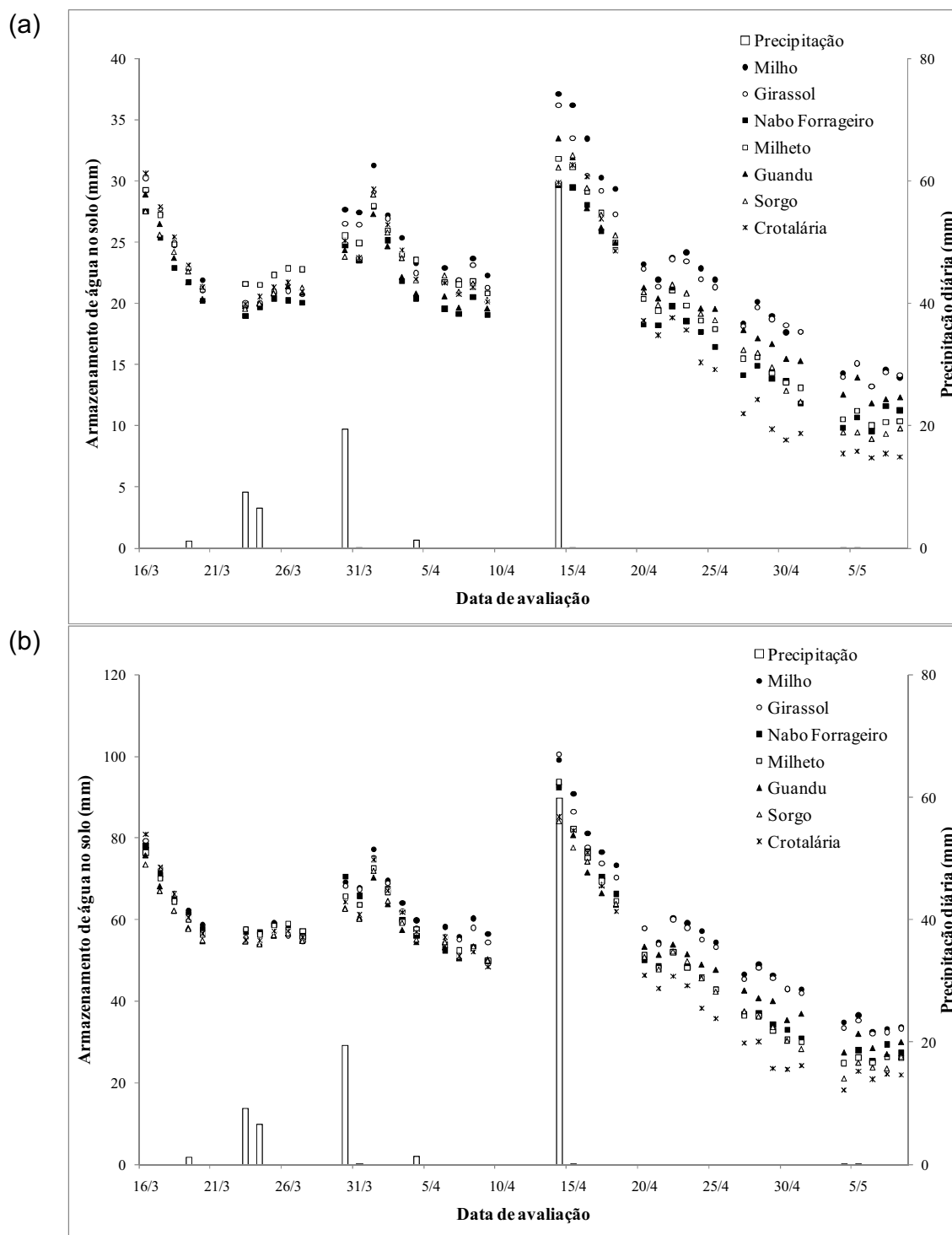


Figura 11. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de inverno, na camada de 0,6 m (a) e 0,2-0,6 m (b) no período de março a maio de 2009.

Este resultado pode ser atribuído às maiores quantidades de resíduos vegetais proporcionados pela sequência MV depositados na superfície do solo. Com a presença da cobertura vegetal, menor é a perda por evaporação da água no solo e isso pode ter contribuído para o maior armazenamento de água no solo no período.

Salienta-se que os resíduos vegetais foram avaliados após a colheita das culturas de verão. O período compreendido entre a avaliação das quantidades de matéria seca na superfície do solo e o início da avaliação do armazenamento de água no solo foi de 10 dias.

A velocidade da decomposição dos resíduos vegetais determina o tempo de permanência do resíduo vegetal na superfície do solo, sendo variável conforme a constituição das espécies. Existem espécies consideradas como de decomposição rápida, como as leguminosas e de decomposição lenta, como as gramíneas (KLIEMANN et al., 2006).

BERTOL et al. (2004) quantificaram a quantidade inicial ($8,77 \text{ Mg ha}^{-1}$) do resíduo de milho depositada sobre a superfície do solo e após o período experimental (305 dias) verificaram redução de 40% do material depositado inicialmente.

DA ROS (1993) constatou que a diminuição das quantidades de matéria seca de quatro leguminosas foi extremamente rápida na fase inicial da decomposição. Esse autor observou também que aos 30 dias depois do corte das espécies, apenas 62% da matéria seca ainda permaneciam na superfície do solo.

A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio (C/N), por isso espécies não gramíneas como soja possuem maior taxa de decomposição, comparada com gramíneas como milho.

Não foram observadas diferenças no armazenamento acumulado de água no solo no período entre as sequências de verão (Tabela 4). Entretanto, entre as sequências de inverno foi detectada diferença para a camada de 0,6 m e na camada 0,2-0,6 m.

O armazenamento acumulado de água no solo na camada de 0,6 m foi maior na parcela sob cultivo de milho no inverno e não diferiu da parcela sob cultivo de girassol. O menor armazenamento de água no solo foi verificado na parcela sob cultivo do nabo

forrageiro, assim como observado no período de janeiro a março de 2009 nesta camada.

Observa-se maior armazenamento de água no solo sob a parcela cultivada com milho e girassol, e menor na parcela sob nabo forrageiro, sorgo e crotalaria na camada de 0,2-0,6 m (Tabela 4).

Tabela 4. Armazenamento acumulado de água no solo no período compreendido de março a maio de 2009, nas camadas de 0,2 m; 0,4 m; 0,6 m e 0,2-0,6 m.

Sequências de culturas	Camada (m)			
	0,2	0,4	0,6	0,2-0,6
Verão ⁽¹⁾	-----mm-----			
RT	613	725	820	2158
MV	621	779	881	2280
SV	590	729	865	2185
F ⁽²⁾	0,77 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,78 ^{ns}
CV (%)	13,8	15,5	14,8	9,9
Inverno	-----mm-----			
Milho	652	814	949a	2425a
Girassol	630	796	920ab	2370ab
Nabo Forrageiro	603	737	763d	2102c
Milheto	575	742	860bc	2178bc
Guandu	602	690	858bc	2192abc
Sorgo	619	671	838bcd	2115c
Crotalaria	574	761	798cd	2073c
F ⁽²⁾	1,23 ^{ns}	1,70 ^{ns}	13,38 ^{**}	8,00 ^{**}
CV(%)	12,7	14,7	6,2	6,5
Interação (V x I)	2,32 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,56 ^{ns}

(1): RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. (2): ** = significativo ($p < 0,01$). ns = não significativo ($p > 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O armazenamento diário de água no solo entre as sequências de culturas estudadas foi semelhante, porém, a partir de 20/04, período associado à menor disponibilidade hídrica, observou-se aumento nas diferenças do armazenamento entre as sequências de inverno (Figuras 10 e 11). Nota-se maior armazenamento de água no solo nas parcelas cultivadas no inverno com milho e girassol.

Com o objetivo de examinar a diferença nos valores do armazenamento diário de água no solo foi realizada a análise de variância para o período de 20/04 a 01/05.

Constatou-se na maioria das datas avaliadas o efeito da sequência de culturas de inverno ($p \leq 0,05$) no armazenamento de água no solo (Tabela 5). Também foi observado em algumas datas isoladas o efeito da sequência de verão e interação entre as sequências de verão e inverno (Tabela 5).

O armazenamento de água no solo diferiu entre as sequências de inverno, sendo em algumas datas menor na parcela sob cultivo de crotalaria quando comparado com as parcelas sob cultivo de milho e girassol (Tabela 6 e 7).

Tabela 5. Probabilidades pelo teste F dos fatores de variação V (Sequências de culturas de verão), I (Sequências de culturas de inverno) para o armazenamento de água no solo em 11 avaliações (20/4/2009 a 05/5/2009).

FV ⁽¹⁾	Datas avaliadas ⁽²⁾										
	20/4	21/4	22/4	23/4	24/4	25/4	27/4	28/4	29/4	30/4	01/5
----- 0,2 m -----											
V	0,40	0,80	0,13	0,10	0,33	0,37	0,43	0,19	0,02	0,10	0,02
I	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V x I	0,02	0,10	0,10	0,16	0,10	0,11	0,13	0,02	0,10	0,26	<0,01
----- 0,4 m -----											
V	0,54	0,64	0,19	0,03	0,10	0,04	0,28	0,03	0,02	<0,01	0,26
I	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V x I	0,80	0,79	0,70	0,79	0,94	0,37	0,84	0,26	0,06	0,10	0,20
----- 0,6 m -----											
V	0,46	0,74	0,34	0,35	0,57	0,26	0,76	0,10	0,35	0,21	0,21
I	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V x I	0,20	0,31	0,13	0,10	0,16	0,02	0,12	<0,01	<0,01	0,27	0,02
----- 0,2-0,6 m -----											
V	0,47	0,78	0,19	0,04	0,14	0,08	0,14	0,04	0,21	0,10	0,25
I	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V x I	0,18	0,13	0,02	0,05	0,56	0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,10	<0,01

⁽¹⁾ FV=Fator de variação; V = verão; I = inverno ⁽²⁾ significativo ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$), não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 6. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de culturas de inverno no período compreendido de 20/04 a 01/05 de 2009, na camada de 0,2 m e 0,4 m.

Sequências de culturas	Datas avaliadas										
	20/4	21/4	22/4	23/4	24/4	25/4	27/4	28/4	29/4	30/4	01/5
-----0,2 m-----											
Milho	14,8a	14,3a	16,4a	15,2a	14,8a	13,8a	12,5a	12,1a	11,6a	10,5a	10,9a
Girassol	15,2a	14,6a	15,2a	14,4a	13,8ab	13,2a	12,2a	11,9a	10,7ab	9,9ab	10,1a
Nabo	13,2ab	12,0ab	12,9ab	12,4a	10,7bc	9,7b	8,3b	8,3b	7,3cd	7,0bc	7,0b
Milheto	13,1ab	12,0ab	12,8ab	12,6a	10,4c	9,6b	7,8b	8,0b	7,0cd	6,7c	6,7b
Guandu	14,3ab	13,5ab	14,1ab	13,3a	12,4abc	11,5ab	10,1ab	9,2b	9,6abc	8,2abc	8,7ab
Sorgo	14,0ab	13,4ab	15,0ab	13,2a	11,9abc	10,0b	10,0ab	9,0b	8,5bcd	8,6abc	8,8ab
Crotalária	11,9b	11,3b	11,2b	11,9a	10,6bc	9,3b	8,9ab	7,6b	6,6d	6,8bc	6,4b
F ⁽¹⁾	4,5*	5,1**	5,2**	2,4*	6,8**	10,1**	5,6**	22,0**	10,0**	5,8**	9,9**
CV(%)	11,5	12,6	16,6	14,6	16,0	15,7	22,8	12,3	20,5	22,7	19,6
-----0,4 m-----											
Milho	20,0a	18,2a	20,2ab	19,7a	19,4a	18,6a	15,6ab	16,6a	15,7a	14,6a	14,3a
Girassol	19,8a	18,6a	20,7a	19,7a	18,9a	19,1a	15,8a	16,4a	16,0a	14,8a	14,3a
Nabo	16,3a	15,0bc	16,7bc	15,2ab	14,6ab	12,7bc	11,0cd	10,4b	9,4b	9,0b	8,3b
Milheto	17,9a	16,5abc	18,0abc	16,7ab	16,5ab	15,3abc	13,1abcd	12,7ab	11,4ab	10,4ab	10,1ab
Guandu	17,6a	17,3ab	18,3abc	17,3ab	16,8ab	16,5ab	14,5abc	14,3ab	13,6ab	12,6ab	12,8ab
Sorgo	15,9a	16,4abc	17,7abc	15,5ab	14,5ab	13,7bc	11,3bcd	11,3ab	10,3b	8,9b	8,5b
Crotalária	15,7a	14,3c	16,0c	14,0b	12,4b	11,7c	9,7d	10,3b	9,2b	8,6b	8,2b
F ⁽¹⁾	3,6*	7,4**	4,6*	5,3**	5,6**	9,1**	7,0**	6,1**	9,3**	7,3**	8,2**
CV(%)	15,8	10,3	13,1	16,8	19,5	18,3	20,7	24,6	23,0	26,6	25,7

⁽¹⁾ ** e * = significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

⁽¹⁾ ** e * = significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 7. Armazenamento diário de água no solo entre as sequências de culturas de inverno no período compreendido de 20/04 a 01/05 de 2009, na camada de 0,4 m e 0,2-0,6 m.

Sequências de culturas	Datas avaliadas										
	20/4	21/4	22/4	23/4	24/4	25/4	27/4	28/4	29/4	30/4	01/5
-----0,6 m-----											
Milho	23,1a	21,9a	23,6a	24,1a	22,8a	21,9a	18,3ab	20,1a	18,9a	17,6a	17,6a
Girassol	22,5a	21,5ab	23,6a	22,2ab	21,5ab	21,2ab	18,6a	19,1a	18,3ab	18,6a	17,3a
Nabo	17,1c	16,3c	17,8c	16,8d	15,5cd	14,8c	12,0c	12,7bc	11,2cd	11,1cd	9,3c
Milheto	20,3abc	19,4abc	21,0abc	19,8bcd	18,5bc	17,9bc	15,4b	15,6abc	14,2bc	13,5bc	13,1bc
Guandu	21,3ab	20,4abc	21,3ab	20,8abc	19,6ab	19,5ab	17,8ab	17,1ab	16,7ab	15,4ab	15,3ab
Sorgo	20,9ab	19,8abc	21,5ab	20,7abc	19,1b	18,6ab	16,1ab	15,9abc	14,7abc	12,8bc	11,9bc
Crotalária	18,6bc	17,4bc	18,8bc	17,8cd	15,1d	14,6c	10,9c	12,1c	9,7d	8,8d	9,3c
F ⁽¹⁾	9,3**	5,8**	10,7**	11,5**	17,5**	15,6**	25,5**	9,2**	15,6**	24,0**	20,5**
CV(%)	10,0	12,9	9,6	10,8	10,8	11,8	11,6	18,4	17,7	15,2	17,0
-----0,2-0,6 m-----											
Milho	57,9a	54,4a	60,4a	59,1a	57,1a	54,3a	46,5a	48,9a	46,3a	42,8ab	42,9a
Girassol	57,8a	54,7a	59,6ab	56,4ab	54,3ab	53,6a	46,6a	47,4a	45,0a	43,4a	41,8a
Nabo	46,7c	43,5c	47,4cd	43,5d	40,8d	37,3cd	31,3de	31,4bc	28,0cd	27,3d	25,1d
Milheto	51,3bc	48,0bc	51,9bcd	48,1cd	45,5cd	42,9bc	36,5cd	36,4bc	32,8c	30,6cd	29,9bc
Guandu	53,3ab	51,3ab	53,8abcd	51,4bc	48,9bc	47,6ab	42,5ab	40,7ab	40,0ab	35,3bc	36,9ab
Sorgo	50,8bc	49,9ab	54,6abc	49,7c	45,6cd	42,3bcd	37,5bc	36,2bc	33,6bc	30,3cd	28,3bc
Crotalária	46,3c	43,0c	46,1d	43,7d	38,2d	35,6d	29,7e	30,0c	23,4d	23,2d	24,1d
F ⁽¹⁾	18,9**	15,3**	11,4**	25,5**	18,1**	29,4**	31,8**	13,0**	41,4**	23,9**	17,3**
CV(%)	6,2	7,3	9,1	6,9	10,1	9,0	9,3	15,7	11,2	14,0	17,0

⁽¹⁾ ** e * = significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em 28/04 verificou-se maior armazenamento de água no solo sob as parcelas sob cultivo de milho e girassol diferindo das demais culturas de inverno na camada de 0,2 m (Tabela 6). O maior armazenamento de água no solo nas parcelas sob cultivo de milho e girassol no inverno pode ser atribuído ao menor revolvimento dos resíduos vegetais no solo por ocasião da semeadura das culturas de inverno, em decorrência do maior espaçamento entre linhas das culturas de milho e do girassol (0,90 m), comparado ao espaçamento das culturas de nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária, cujo espaçamento foi de 0,45 m.

Alguns trabalhos na literatura comprovaram que a porcentagem de cobertura do solo é alterada pelo manejo dos resíduos vegetais na superfície do solo ou mesmo o efeito da semeadura direta sobre os resíduos depositados sobre a superfície do solo (BERTOL et al., 1998; BORTOLUZZI & ELTZ, 2000; FABIAN, 2009).

No sistema de semeadura direta é preconizada a semeadura sobre os resíduos vegetais de culturas anteriores, com o mínimo de revolvimento no solo, com o objetivo de mantê-lo com a máxima cobertura possível, porém, devido ao menor espaçamento entre os discos de corte da semeadora no espaçamento de 0,45 m, é provável que tenha ocorrido maior exposição da superfície do solo, pelo deslocamento da palha, aumentando a evaporação da água no solo e como consequência a diminuição no armazenamento de água no solo.

MARQUES & BENEZ (2000) avaliaram a cobertura do solo após a semeadura no sistema de semeadura direta, verificaram que a porcentagem de cobertura após a semeadura foi de 81%.

O motivo da redução da cobertura vegetal deve-se ao fato de que as semeadoras incorporam o resíduo vegetal na linha de semeadura e eventualmente podem deslocar o material, principalmente em espaçamentos mais reduzidos.

Segundo CASÃO JUNIOR & SIQUEIRA et al. (2006) é importante que o resíduo vegetal esteja bem distribuído sobre o solo para evitar a ocorrência de locais com acúmulo, causando problemas de embuchamento da semeadora, emergência irregular de plântulas e, por outro lado, provocar o aparecimento de áreas mais suscetíveis à erosão e maior emergência de plantas daninhas.

Os resíduos culturais na superfície do solo e o não-revolvimento do solo podem diminuir a amplitude térmica e as perdas por evapotranspiração (ARGENTON et al., 2005; COSTA et al., 2003) e conservar a água no solo (ALBUQUERQUE et al., 2005) por maior período de tempo.

3.4 CONCLUSÕES

A hipótese deste estudo não foi confirmada para a sequência de culturas de verão, porém, foi confirmada para sequência de culturas de inverno, ou seja o armazenamento de água no solo diferiu entre sequências de culturas de inverno.

A sequência milho em monocultura no verão produziu maior quantidade de matéria seca de resíduos vegetais na superfície do solo.

CAPÍTULO 4 – ATRIBUTOS FÍSICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SEQUÊNCIAS DE CULTURAS DE VERÃO E INVERNO SOB SEMEADURA DIRETA

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar a densidade, porosidade, distribuição dos poros do solo por tamanho, matéria orgânica e a infiltração de água no solo submetido a diferentes sequências de culturas de verão e inverno sob semeadura direta. O experimento foi realizado em Jaboticabal-SP, em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão (rotação soja/milho e monocultura de milho e soja) e sete culturas de inverno (milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária). Foram determinados a densidade do solo, porosidade total, macro e microporos, matéria orgânica e distribuição de poros nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m e a infiltração de água no solo na superfície. As curvas de distribuição de poros foram obtidas derivando-se as equações das curvas de retenção. Os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Tukey. A densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade não foram influenciadas pelas sequências de culturas de verão e inverno. O diâmetro de poros entre 0,075 - 0,05 mm e entre 0,03 - 0,0375 mm diferiu entre as sequências de verão, sendo maior na monocultura de milho na camada de 0,0-0,1 m. A distribuição de poros por tamanho não foi influenciada pelas sequências de culturas de inverno. A maior taxa de infiltração de água no solo ocorreu nas parcelas sob monocultura de soja.

Palavras-Chave: porosidade do solo, plantas de cobertura, distribuição de poros por tamanho.

4.1 INTRODUÇÃO

O manejo do solo se refere à utilização de práticas agrícolas como calagem, sistemas de preparo de solo, rotação de culturas, adubação verde, entre outras, que podem ser utilizadas em uma área agrícola de modo a aumentar e manter sua capacidade produtiva.

Dentre essas práticas, a rotação de culturas é o sistema de alternar, em um mesmo terreno e na mesma época do ano, diferentes culturas em sequência, de acordo com um plano definido (LOMBARDI NETO et al., 2002).

A adoção de sistemas de manejo de solo, como o sistema de semeadura direta (SSD) e de um esquema de rotação de culturas proporciona a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo.

O acúmulo de resíduos vegetais no sistema de semeadura direta (SSD) deve-se, principalmente, à ausência de revolvimento do solo, resultando em menores taxas de decomposição do resíduo vegetal.

A quantidade e persistência dos resíduos vegetais produzidos dependem do sistema de rotação de culturas adotado, da espécie ou do tipo de resíduo e das condições climáticas.

Sistemas de rotação de culturas que incluem culturas com alta produção de matéria seca e que apresentem baixa relação C/N resultam, em geral, em maiores acúmulos de matéria orgânica no solo (ANDRADE et al., 2009).

Os resíduos de leguminosas tem grande importância como fornecedores de N, podendo contribuir para a diminuição da acidez do solo e da relação C/N (HARGROVE, 1986). Já os resíduos das gramíneas favorecem a estrutura e a estabilidade dos agregados do solo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994).

CAMPOS et al. (1999) verificaram que a sequência de culturas com a sucessão de gramíneas com leguminosas favoreceu a maior agregação do solo. Os autores atribuíram este comportamento ao sistema radicular das gramíneas e à taxa de decomposição das leguminosas, criando um ambiente favorável à agregação pela ação

das raízes, por meio dos resíduos vegetais com a cobertura do solo e a conservação da umidade favorável à ação dos microrganismos

As gramíneas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e os agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade (WOHLENBERG et al. 2004).

O efeito da maior agregação de partículas do solo pode ser observado na melhoria da porosidade do solo e conseqüentemente na densidade do solo pela alteração no volume.

A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros (KLEIN & LIBARDI, 2002). Portanto, a caracterização da porosidade é importante no estudo da estrutura do solo.

A porosidade se refere a um termo utilizado para designar todos os espaços vazios no solo. O volume total dos poros e sua continuidade e distribuição de tamanho, são extremamente importantes para o fluxo de água no solo, sendo que poros pequenos podem conduzir melhor a água desde que formem uma rede contínua, enquanto que poros maiores podem não contribuir para o fluxo, caso apresentem descontinuidade (BOUMA 1982).

KAY e ANGERS (1999) mostram que a distribuição de tamanho dos poros do solo é útil para explicar os fatores que afetam a estrutura do solo, incluindo textura, mineralogia, matéria orgânica, microorganismos, fauna do solo, plantas e o manejo do solo.

Os poros no solo possuem ampla variedade de tamanhos e formas, são classificados de acordo com o seu diâmetro. Na literatura são encontradas várias classificações do diâmetro de poros, uma mais simplificada, separa os poros em duas classes: macroporos, poros com diâmetro maior do que 0,05 mm e microporos, poros com diâmetro menor do que 0,05 mm, conforme RICHARDS (1965).

Os macroporos permitem a livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração. Os microporos geralmente são ocupados por água, e são importantes para a retenção e armazenamento de água pelo solo.

Segundo OTHMER et al. (1991), a água retida em poros com diâmetro menor que 0,0002 mm não se encontra disponível para as plantas, assim pode haver restrição do fluxo de água no solo (KLEIN, 1998).

Nesse sentido, a determinação somente da macro e da microporosidade fornece informações limitadas a essas duas classes de diâmetros de poros, visto que, dependendo da quantidade de criptoporos, pode haver restrição de água para as plantas (KLEIN, 1998).

As alterações que ocorrem na estrutura do solo evidenciadas por modificações de sua densidade, porosidade e distribuição do diâmetro dos poros, bem como, a dinâmica da água na superfície são influenciadas pelo sistema de manejo adotado.

Sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o SSD têm ocasionado mudanças significativas na densidade do solo e na porosidade do solo. Nesse sentido, a avaliação da distribuição do diâmetro de poros do solo pode ser útil para identificar as alterações do manejo adotado.

A hipótese do trabalho foi de que o sistema de semeadura direta, associado à sequências de culturas de verão e inverno, altera os atributos físicos do solo relacionados à relação ar/água do solo.

O trabalho teve como objetivo avaliar a densidade, porosidade, distribuição dos poros do solo por tamanho, matéria orgânica e a infiltração de água de um solo submetido a diferentes sequências de culturas de verão e inverno sob semeadura direta.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido, na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

As coordenadas geográficas da área experimental são 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude média de 595 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1425 mm, concentrada no período de outubro a março, temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa do ar de 70 %.

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, A moderado, hipoférico, relevo suave ondulado, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Antes da instalação do experimento, a área foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema convencional de preparo de solo por período de aproximadamente 20 anos. O resultado da análise física e de matéria orgânica do solo, realizada antes da instalação do experimento, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e matéria orgânica do solo antes da instalação do experimento (CORÁ, 2006).

Atributos	Camadas (m)			
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
Densidade do solo (Mg m^{-3})	1,13	1,46	1,62	1,10
Argila (g kg^{-1})	540	543	593	613
Silte (g kg^{-1})	66	64	57	57
Areia (g kg^{-1})	394	393	350	330
Matéria orgânica (g dm^{-3})	25	20	17	(1)

(1) Camada de solo não avaliada.

Em abril de 2002, visando corrigir possíveis impedimentos físicos do solo, foi realizada a operação de subsolagem do solo a 40 cm de profundidade.

O delineamento experimental e a constituição e característica dos tratamentos estão descritos no Capítulo 3.

4.2.2 Avaliações

4.2.2.1 Densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade

Em outubro de 2008 foram retiradas amostras indeformadas de solo, em anéis metálicos (0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura), nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Na camada de 0,0-0,1 m foram retiradas três amostras e na camada de 0,1-0,2 m, uma amostra por parcela experimental.

Após a saturação, as amostras foram submetidas progressivamente às tensões de 2; 4; 6; 8; e 10 kPa, utilizando-se mesa de tensão, conforme descrito por LIMA & SILVA (2008), e à 30; 100 e a 1500 kPa, em câmara de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986).

Nas amostras foram determinadas: densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986), porosidade total (Pt), micro (Mi) e macro (Ma) porosidade (EMBRAPA, 1997). Os procedimentos adotados em laboratório estão de acordo com metodologia apresentada no Capítulo 2.

4.2.2.2 Matéria orgânica

Após o manejo das culturas de inverno e antes da semeadura das culturas de verão do ano agrícola 2008/2009, foram coletadas amostras deformadas de solo em 20 pontos aleatórios por parcela experimental na entrelinha da cultura, nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm para posteriormente serem determinados os teores de matéria orgânica do solo, conforme método descrito por RAIJ et al. (1987).

4.2.2.3 Distribuição de poros por tamanho

A determinação da distribuição de poros do solo por tamanho (classes) foi feita pelo método da dessorção de água (BOUMA, 1973). Para isso, foram utilizadas as tensões discriminadas acima. O cálculo do diâmetro dos poros (D_p) do solo foi realizado por meio da equação (1) que é denominada de equação da capilaridade ou equação de Jurin:

$$D_p = \frac{4\sigma \cos \alpha}{\rho g h} \quad (1)$$

em que: D_p é o diâmetro do poro (m); σ é a tensão superficial do líquido (N m^{-1}); α é o ângulo de contato entre líquido e sólido; ρ é a densidade do líquido; g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}) e h é a ascensão capilar (m).

Com objetivo de facilitar a interpretação, foi elaborada a curva diferencial da curva de retenção de água (LIBARDI, 2005) que é a curva de frequência do tamanho dos poros. Foi determinado o ponto máximo da curva diferencial com o objetivo de indicar quais são os poros de diâmetro mais frequentes em torno do valor correspondente a determinada tensão.

A porosidade foi classificada em função do diâmetro dos poros. Para esta classificação, chamou-se de macroporos, poros com diâmetro maior que 0,05 mm (água retida com tensões menores que 6 kPa), microporos aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (tensões maiores que 1500 kPa) (KLEIN & LIBARDI, 2002).

4.2.2.4 Infiltração de água no solo

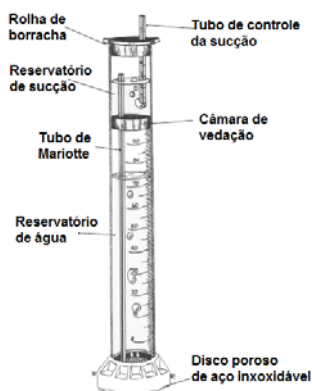
Foi avaliada a taxa de infiltração de água na superfície do solo em cinco replicações por parcela. As avaliações consistiram em medir o volume de água infiltrada em intervalos regulares de tempo.

Utilizou-se o infiltrômetro de disco, modelo S, da Decagon, com diâmetro interno da base de 3 cm, constituída de um disco de aço inoxidável poroso.

O infiltrômetro foi constituído de dois reservatórios, um reservatório para o volume de água necessária à infiltração e outro para despressurização (sucção).

O reservatório de despressurização possuía dois tubos internos, um móvel que permite fluxo de ar do exterior do aparelho quando em funcionamento e o outro conectado ao reservatório de água. O esquema do infiltrômetro de disco e do aparelho no campo encontra-se na Figura 1.

a)



b)



Figura 1. Partes constituintes do infiltrômetro (a) e detalhe do cilindro de polietileno e do infiltrômetro no campo (b).

No presente estudo adotou-se uma taxa de sucção fixa de 3 cm. O reservatório de água conectado à base circular porosa apresentava uma escala de medida, pelo qual era registrado o volume de água infiltrado num determinado tempo.

Para realização das medições de infiltração, a superfície do solo foi nivelada e inserido no solo, um cilindro de polietileno com diâmetro interno de 0,12 m.

Para perfeito contato da base do infiltrômetro com a superfície do solo, os resíduos vegetais foram cuidadosamente eliminados.

A infiltração acumulada de água foi descrita pela equação (2) do tipo potencial:

$$I = a T^n \quad (2)$$

em que: I é a infiltração acumulada (cm); a = constante dependente do solo; T é o tempo de infiltração (min) e n é uma constante que varia de 0 a 1.

A velocidade de infiltração foi estimada em função da equação (3):

$$VI = 60 a n T^{n-1} \quad (3)$$

em que: VI é a velocidade de infiltração (mm h^{-1}); a = constante dependente do solo; T é o tempo de infiltração (min) e n é uma constante que varia de 0 a 1.

4.2.3. Análise dos dados

Os dados de densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade, matéria orgânica e a distribuição de poros por tamanho foram submetidos à análise de variância, sendo o resultado significativo ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dados referentes à infiltração de água no solo foram apresentados na forma gráfica.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Densidade do solo, porosidade total, macro e microporos e matéria orgânica

Os valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade não apresentaram diferença significativa entre as sequências de culturas de verão e de inverno (Tabela 2).

Em termos absolutos os valores de densidade do solo variaram de 1,30 a 1,41 Mg m^{-3} na camada de 0,0-0,10 e de 1,30 a 1,45 Mg m^{-3} na camada de 0,1-0,20 m (Tabela 2). Verifica-se aumento na densidade do solo na camada de 0,0-0,10 m quando comparado com o valor (1,13 Mg m^{-3}) antes da instalação do experimento (Tabela 1). Vários autores relataram que a intensificação do uso do solo resulta em maiores valores de densidade, mesmo sob SSD (PIERCE et al., 1994), cuja intensidade de revolvimento do solo é menor que em sistemas convencionais.

De maneira geral os valores absolutos mais baixos de densidade do solo foram observados na camada de 0,0-0,1 m, com exceção de girassol, sorgo e guandu entre as sequências de inverno (Tabela 2). Na literatura, a maioria dos trabalhos indica que há tendência de maior densidade do solo próximo às camadas superficiais (TAVARES FILHO et al., 1999; STONE & SILVEIRA, 2001; BESCANS et al., 2006). Tal situação pode ser explicada ao adensamento natural devido à ausência de revolvimento, como também, pela compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas (DE MARIA et al., 1999).

LAL et al. (1994), ao avaliarem um experimento com milho contínuo e a rotação milho-soja, observaram que no sistema de semeadura direta o solo apresentava densidade 7% menor que o sistema de plantio convencional. Concluíram ainda que, após 28 anos, a densidade do solo era menor no sistema de semeadura direta, devido aos resíduos culturais mantidos na superfície do solo.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), micro (Mi) e macro (Ma) poros e matéria orgânica (Mo) do Latossolo Vermelho sob sequências de culturas de verão e inverno em semeadura direta.

Sequências de Culturas	Ds		Pt		Mi		Ma		Mo	
	----- Mg m ⁻³ -----				m ³ m ⁻³ -----				----- g dm ⁻³ -----	
Camada (m)										
Verão (V) (¹)	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2
RT	1,39	1,39	0,45	0,44	0,34	0,34	0,11	0,10	22b	13b
MV	1,34	1,36	0,46	0,46	0,34	0,34	0,12	0,12	25a	16a
SV	1,35	1,35	0,45	0,44	0,34	0,34	0,11	0,10	25a	15ab
F(²)	6,27 ^{ns}	0,61 ^{ns}	4,92 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,52 ^{ns}	3,08 ^{ns}	0,38 ^{ns}	13,2*	7,03*
CV (%)	4,1	8,6	3,7	10,9	3,4	6,5	27,2	60,7	9,3	15,3
Inverno (I)										
Milho	1,40	1,45	0,43	0,41	0,33	0,34	0,10	0,07	25	14
Girassol	1,41	1,38	0,44	0,46	0,34	0,34	0,10	0,12	23	14
Nabo	1,37	1,43	0,45	0,45	0,34	0,35	0,11	0,10	24	15
Milheto	1,35	1,38	0,45	0,46	0,34	0,35	0,11	0,11	23	15
Guandu	1,37	1,33	0,45	0,47	0,35	0,34	0,10	0,13	24	15
Sorgo	1,32	1,30	0,47	0,43	0,35	0,35	0,12	0,08	25	16
Crotalária	1,30	1,33	0,47	0,46	0,35	0,35	0,12	0,11	25	15
F(²)	1,58 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,94 ^{ns}
CV(%)	6,6	10,3	7,9	12,6	4,1	4,2	29,2	53,7	10,1	9,7
Interação (V x I)	0,70 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,69 ^{ns}

(¹): RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. (²): * = significativo (p<0,05); ^{ns} = não significativo (p<0,05). Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Como é na camada mais superficial do solo que se concentram os resíduos vegetais, com a constante adição de resíduos vegetais ao longo do tempo é de se esperar que a densidade do solo diminua, devido ao aumento do teor de matéria orgânica, melhorando a agregação do solo.

O menor teor de matéria orgânica do solo observado na sequência RT na camada 0,0-0,1 e na sequência RT e SV na camada 0,1-0,2 m (Tabela 2), pode estar associado às baixas quantidades de matéria seca dos resíduos vegetais, conforme apresentado no Capítulo 2.

Devido à contribuição dos resíduos da leguminosa (soja) com o nitrogênio, pode ter aumentado a taxa de decomposição da palhada da gramínea (milho), diminuindo as quantidades de matéria seca dos resíduos vegetais na sequência RT, porém, não resultou no aumento da matéria orgânica do solo (Tabela 2).

Com o aumento da decomposição e a diminuição dos resíduos vegetais na superfície do solo, pode ter ocorrido a elevação da amplitude térmica na superfície do solo o que favoreceu a oxidação da matéria orgânica do solo.

As seqüências de culturas de inverno não influenciaram os teores de matéria orgânica do solo independentemente da camada amostrada (Tabela 2).

Os valores de porosidade total variaram de 0,43 a 0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e de 0,41 a 0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para as camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, entre as culturas de inverno (Tabela 2). Já para as seqüências de verão a diferença foi menor, variando de 0,45 a 0,46 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e de 0,44 a 0,46 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para as camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Segundo TAVARES FILHO et al. (2010) a porosidade total ideal de um solo para bom desenvolvimento das plantas deve ser em torno de 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Os resultados obtidos para a porosidade total do solo indicam valores abaixo do mínimo indicado como ideal.

TORMENA et al. (1998) estudaram as alterações na porosidade de aeração no sistema de semeadura direta e salientam que, com o decorrer do tempo, mesmo sem mobilizar o solo, houve aumento da porosidade total e de aeração, fato atribuído por eles à ação do sistema radicular da cultura da aveia preta.

BERTOL et al. (2004) não encontraram diferenças significativas na porosidade do solo ao avaliar sistemas de sucessão e rotação de culturas em semeadura direta, comparadas a um campo nativo. Os autores sugerem que para ocorrer alterações na porosidade do solo é necessário longo período de utilização dos sistemas de manejo.

A macroporosidade é um aspecto importante no desenvolvimento radicular e, consequentemente, no desenvolvimento das plantas. Valores de macroporosidade devem ser de pelo menos 10% do volume total do solo para permitir as trocas gasosas e crescimento das raízes da maioria das culturas de sequeiro (TAVARES FILHO et al. 2010). Verifica-se no presente trabalho que a maioria dos valores de macroporosidade é maior ou igual a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 2).

Deve-se ressaltar que a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo estão intimamente relacionados ao volume de macroporos.

Os valores de microporos variaram de 0,33 a 0,35 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ entre as sequências de inverno e apresentaram o mesmo valor absoluto (0,34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) entre as sequências de verão em ambas as camadas avaliadas (Tabela 2).

Os microporos são poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm, nesse intervalo, existe ampla distribuição no diâmetro dos poros, assim, é necessário investigar o efeito de outras classes de diâmetro. Assim como a participação dos criptoporos na distribuição da porosidade total do solo.

Salienta-se que os criptoporos são classificados com diâmetro menor que 0,0002 mm, onde a água permanece armazenada porém indisponível as plantas (KLEIN, 2008).

Portanto, uma quantidade total de poros, assim como, uma distribuição equilibrada entre as classes de tamanhos são fundamentais para que as plantas não sofram limitações em seu desenvolvimento.

4.3.2 Distribuição de poros do solo por tamanho

Verificou-se que as sequências das culturas de verão e de inverno não influenciaram significativamente o diâmetro dos poros na camada de 0,0-0,10 m e 0,1-0,2 m, com exceção da classe de diâmetro entre 0,075 - 0,05 e 0,0375 - 0,03 mm nas sequências de verão para a camada superficial (Tabela 3 e 4).

Para a classe de diâmetro entre 0,075 – 0,05 a sequência MV diferenciou-se das demais, porém não diferiu da sequência RT para a classe de diâmetro entre 0,0375 - 0,03 (Tabela 3). Resultados diferentes dos encontrados por RIBEIRO et al. (2007) que avaliaram a influência da distribuição de poros na camada de 0,0-0,20 m de seis classes de solos e constataram que a classe de diâmetro entre 0,0375 - 0,03 não apresentou diferença entre as classes de solo.

SILVA et al. (2005) verificaram que as alterações na distribuição de diâmetro dos poros promoveram o aumento da retenção de água do solo. Segundo os autores esse

resultado é atribuído pela redução dos poros de maior diâmetro refletindo na maior compactação, resultante do tráfego de máquinas agrícolas.

Tabela 3. Distribuição dos poros em intervalos de tamanho do Latossolo Vermelho sob sequências de culturas de verão e inverno sob sistema em semeadura direta na camada de 0,0-0,10 m.

Sequências de Culturas	Diâmetro do poro (mm)							
	> 0,15	0,15 - 0,075	0,075 - 0,05	0,05 - 0,0375	0,0375 - 0,03	0,03 - 0,009	0,009 - 0,0002	< 0,0002
Verão (V) ⁽¹⁾	-----m ³ m ⁻³ -----							
RT	0,062	0,028	0,012b	0,015	0,007ab	0,034	0,072	0,218
MV	0,072	0,033	0,017a	0,014	0,008a	0,036	0,085	0,197
SV	0,067	0,025	0,012b	0,015	0,004b	0,038	0,080	0,209
F ⁽²⁾	1,05 ^{ns}	2,51 ^{ns}	250,74**	0,17 ^{ns}	7,54**	2,19 ^{ns}	0,70 ^{ns}	33,00 ^{ns}
CV (%)	31,8	42,7	5,7	27,1	46,2	13,9	38,4	4,1
Inverno (I)								
Milho	0,060	0,026	0,011	0,014	0,009	0,034	0,079	0,201
Girassol	0,060	0,027	0,013	0,016	0,007	0,037	0,075	0,208
Nabo	0,067	0,028	0,016	0,013	0,007	0,035	0,079	0,204
Milheto	0,068	0,030	0,016	0,014	0,008	0,036	0,080	0,206
Guandu	0,056	0,033	0,013	0,017	0,005	0,039	0,079	0,211
Sorgo	0,085	0,027	0,014	0,014	0,004	0,036	0,079	0,213
Crotalária	0,074	0,031	0,015	0,017	0,005	0,035	0,082	0,215
F ⁽²⁾	1,53 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,61 ^{ns}
CV(%)	35,5	40,6	33,8	23,1	57,1	17,4	18,7	9,4
Interação (V x I)	1,62 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,36 ^{ns}

⁽¹⁾: RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. ⁽²⁾: ** = significativo (p<0,05); ^{ns} = não significativo (p<0,05). Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Nota-se que a faixa compreendida pelos criptoporos representa aproximadamente 50% da distribuição dos poros do solo (Figuras 2 e 3). Isso implica na disponibilidade de água para as plantas, pois, a água retida nos criptoporos não se encontra disponível para as plantas (OTHMER et al., 1991).

A menor porcentagem de criptoporos foi observada na sequência de verão MV em ambas as camadas de solo (Figuras 2 e 3).

Entre as culturas de inverno a maior diferença observada entre os criptoporos foi na camada 0,1-0,2 m, em que a cultura do sorgo apresentou a maior porcentagem e o guandu a menor (Figura 3).

Tabela 4. Distribuição dos poros em intervalos de tamanho do Latossolo Vermelho sob sequências de culturas de verão e inverno sob sistema em semeadura direta na camada de 0,1-0,20 m.

Sequências de Culturas	Diâmetro do poro (mm)							
	> 0,15	0,15 - 0,075	0,075 - 0,05	0,05 - 0,0375	0,0375 - 0,03	0,03 - 0,009	0,009 - 0,0002	< 0,0002
Verão (V) ⁽¹⁾	-----m ³ m ⁻³ -----							
RT	0,061	0,024	0,012	0,014	0,010	0,025	0,063	0,234
MV	0,071	0,025	0,017	0,009	0,012	0,027	0,077	0,209
SV	0,060	0,026	0,018	0,009	0,008	0,029	0,075	0,218
F ⁽²⁾	0,57 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,32 ^{ns}	3,88 ^{ns}	6,24 ^{ns}	0,58 ^{ns}	6,62 ^{ns}	17,04 ^{ns}
CV (%)	54,6	85,2	62,7	54,5	32,1	39,3	30,8	6,3
Inverno (I)								
Milho	0,039	0,019	0,012	0,011	0,010	0,029	0,073	0,215
Girassol	0,078	0,028	0,016	0,013	0,010	0,030	0,069	0,213
Nabo	0,063	0,025	0,018	0,010	0,011	0,027	0,077	0,221
Milheto	0,067	0,028	0,017	0,012	0,009	0,031	0,073	0,218
Guandu	0,081	0,030	0,018	0,011	0,014	0,025	0,079	0,213
Sorgo	0,053	0,018	0,013	0,008	0,008	0,020	0,082	0,232
Crotalária	0,067	0,027	0,019	0,011	0,009	0,028	0,076	0,227
F ⁽²⁾	1,02 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,98 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,24 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,12 ^{ns}
CV(%)	66,3	56,2	35,9	33,1	51,7	28,3	32,9	9,6
Interação (V x I)	0,76 ^{ns}	2,29 ^{ns}	1,39 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,76 ^{ns}

⁽¹⁾: RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão. ⁽²⁾: ** = significativo (p<0,05); ^{ns} = não significativo (p<0,05). Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Verifica-se que os macroporos (poros com diâmetro maior que 0,05 mm) representam em aproximadamente 20% do volume total de poros (Figuras 2 e 3).

Os macroporos permitem a livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração, em períodos de menor disponibilidade hídrica o secamento do solo pode mudar a orientação individual e o rearranjo das partículas do solo, uma vez que, durante o umedecimento, os poros são preenchidos pela água e no período de seca no lugar da água, tem-se ar.

PIRES et al. (2008) avaliaram o efeito do secamento e umedecimento na distribuição do tamanho dos poros de três solos e verificaram mudanças no formato e tamanho dos poros.

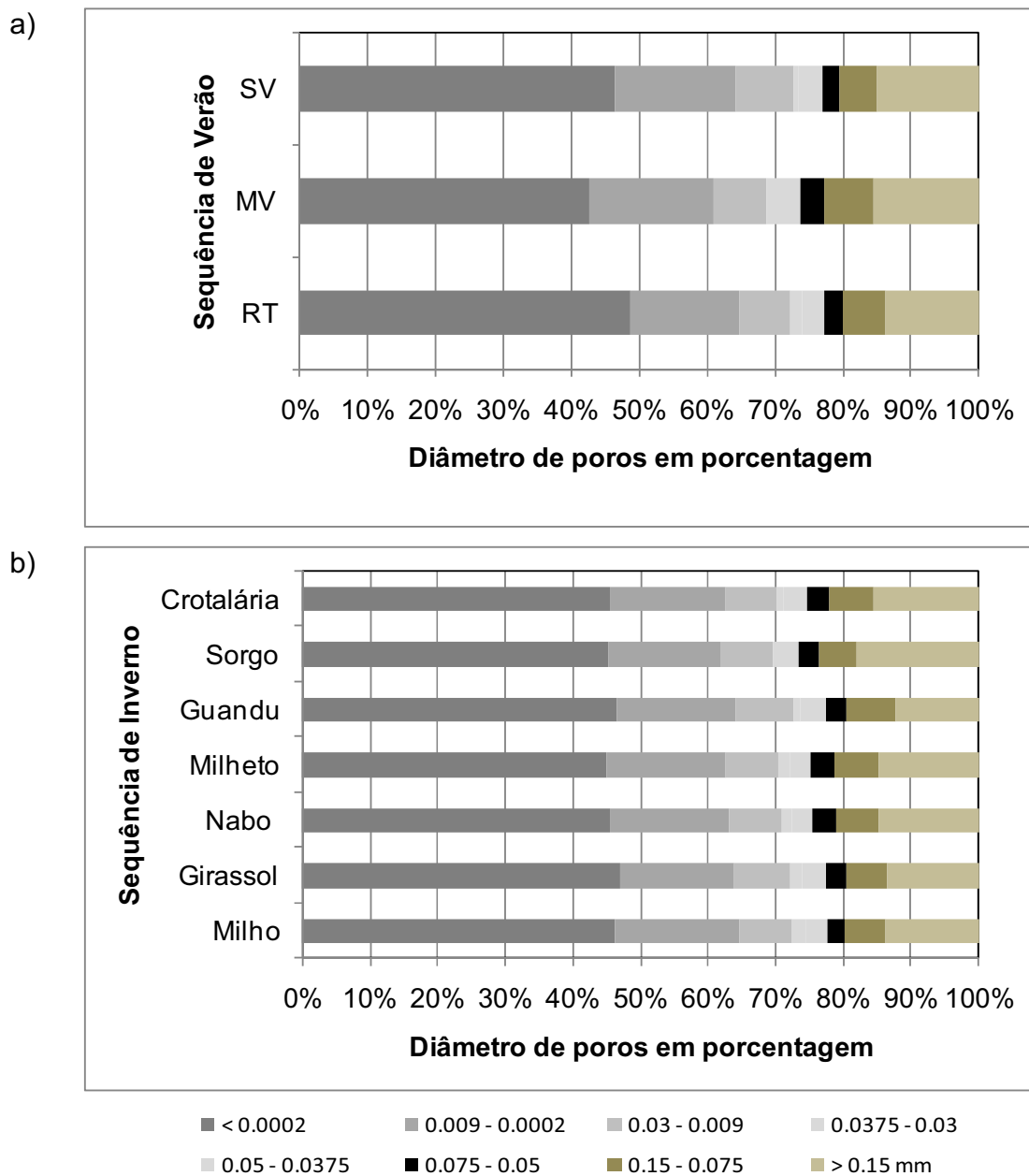


Figura 2. Diâmetro de poros em porcentagem na sequência de verão (a) e na sequência de inverno (b) para camada de 0,0-0,1 m.

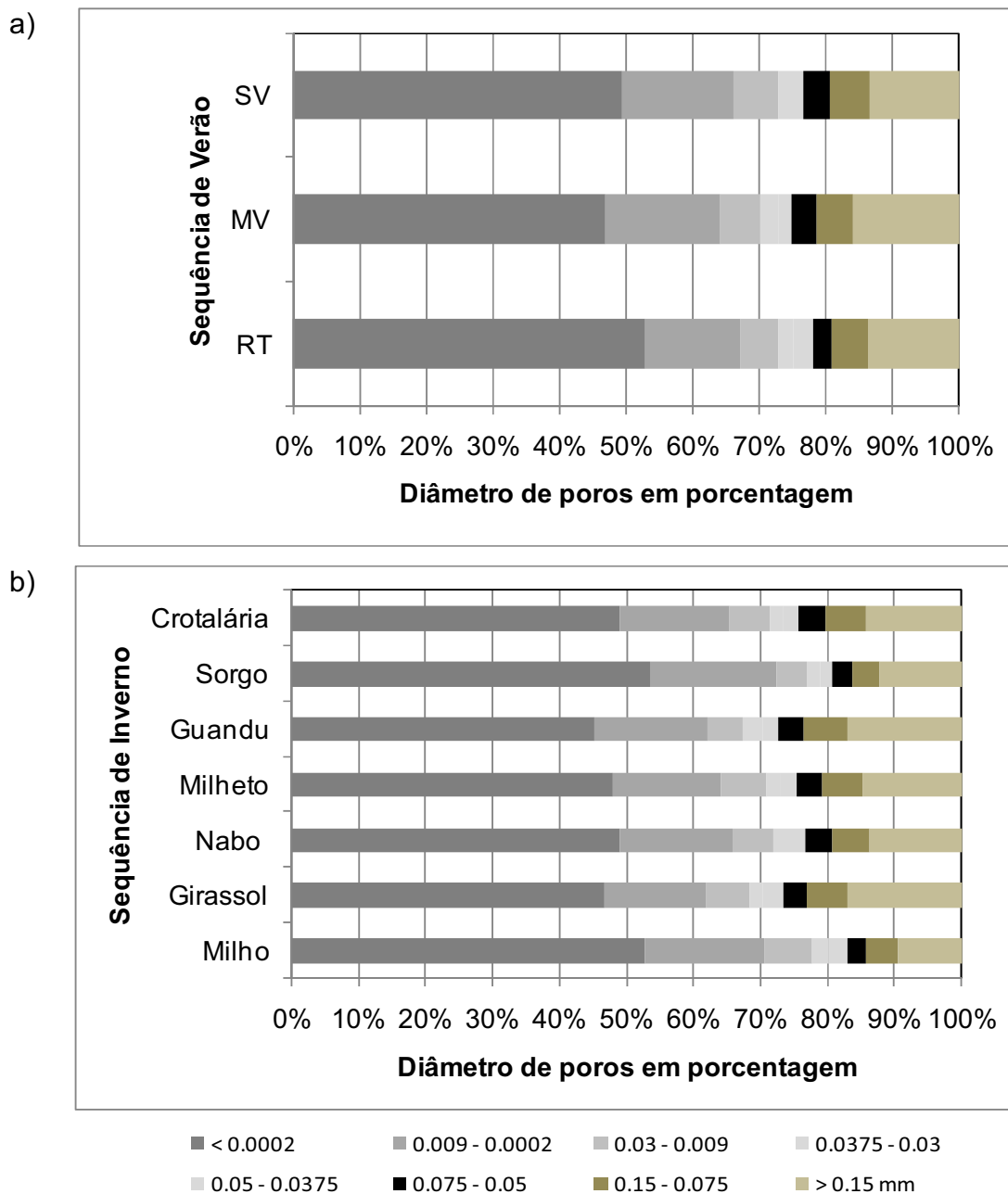


Figura 3. Diâmetro de poros em porcentagem na sequência de verão (a) e na sequência de inverno (b) para camada de 0,1-0,2 m.

Sob condições secas, a transmissão de água no solo ocorre através de um gradiente mátrico de pressão, sendo mais rápida nos menores poros do que nos maiores (BHATTACHARYYA et al., 2006). Os mesmos autores salientam que a transmissão e o armazenamento de água podem ser alterados em função da alteração da distribuição do tamanho dos poros por meio do manejo das práticas agrícolas.

Nesse sentido, a manutenção e persistência de resíduos vegetais na superfície do solo pode atenuar os efeitos do secamento do solo e isso pode diminuir a mudança no formato, arranjo e tamanho dos poros, porém no presente estudo não foi detectada mudanças na distribuição de poros por tamanho.

A curva de frequência do tamanho dos poros nas sequências de verão não variaram em ambas as camadas de solo (Figuras 4 e 5). Tal observação pode ser confirmada pelos valores relativamente constantes correspondentes ao ponto máximo da curva de frequência que se situam num diâmetro de 0,06 a 0,07 mm (Tabela 5). Nas sequências de inverno, as faixas de diâmetro de poros correspondentes ao ponto máximo variaram de 0,05 a 0,07 mm.

A curva frequência representa uma área, que é o volume total de poros. Uma curva platicúrtica significa uma diminuição nesta área (maior achatamento), isto é, uma diminuição do volume total de poros. Verifica-se uma característica platicúrtica da curva entre as sequências RT e SV, em comparação à curva da sequência MV, isto é, uma diminuição do volume total de poros (Figuras 4 e 5).

A maior diferença no achatamento da curva foi observada entre as culturas de inverno. A cultura do sorgo na camada de 0,0-0,1 m e o guandu na camada de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m apresentaram um aumento no volume de poros, o que também pode ser verificado pelo ponto máximo da curva de distribuição (Tabela 5).

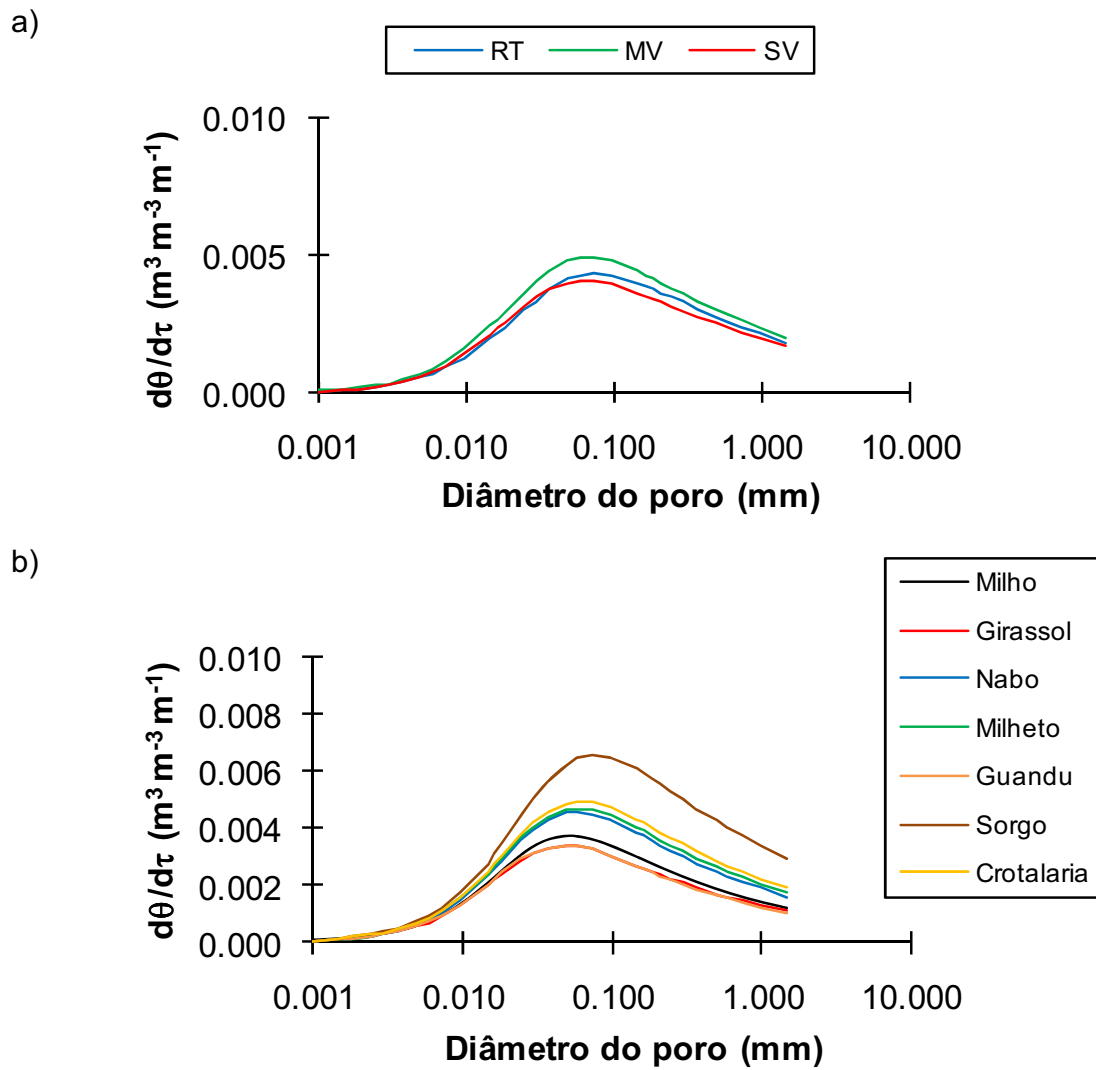


Figura 4. Curva de frequência do tamanho dos poros do solo nas sequências de verão (a) e sequências de inverno (b) na camada de 0,0-0,1 m.

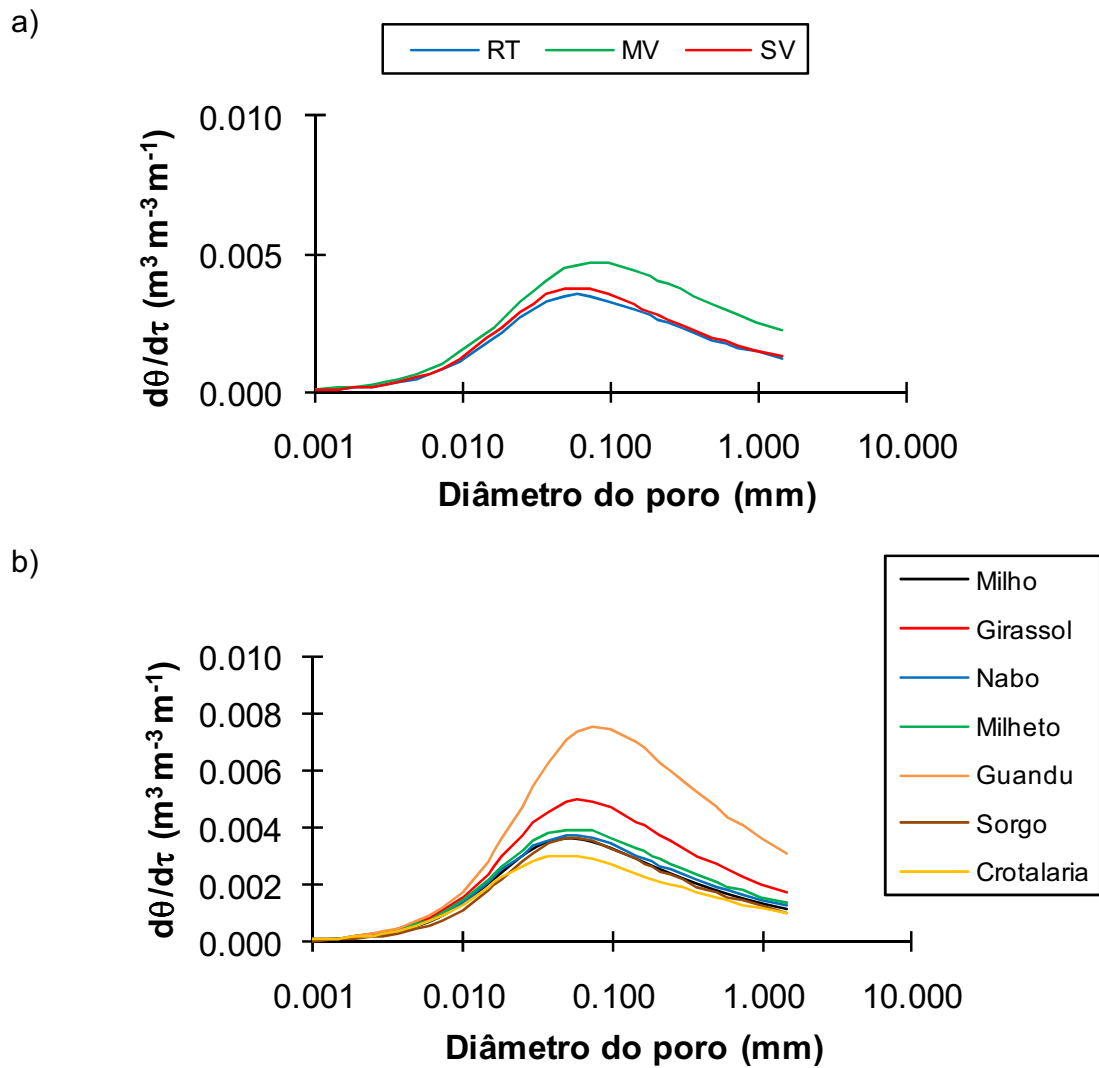


Figura 5. Curva de frequência do tamanho dos poros do solo nas sequências de verão (a) e sequências de inverno (b) na camada de 0,1-0,2 m.

Tabela 5. Diâmetro de poros (mm) correspondente ao máximo das curvas $d\theta/d\tau$ nas sequências de verão e inverno.

Sequências de culturas	Camada (m)	
	Verão ⁽¹⁾	
	0,0-0,1	0,1-0,2
RT	0,07	0,06
MV	0,06	0,07
SV	0,06	0,06
Inverno		
Milho	0,05	0,05
Girassol	0,05	0,06
Nabo	0,05	0,05
Milheto	0,05	0,05
Guandu	0,05	0,07
Sorgo	0,07	0,05
Crotalária	0,06	0,05

⁽¹⁾: RT = rotação soja/milho cultivados no verão; MV = milho cultivado no verão; SV = soja cultivada no verão.

4.3.3 Infiltração de água no solo

A taxa de infiltração de água no solo tem sido utilizada como parâmetro de avaliação da qualidade do solo (AMADO et al., 2007).

O valor da taxa de infiltração de água no solo entre as sequências de verão foi maior no tratamento sob a sequência SV, comparada com a sequência RT e MV. Os valores variaram de 388, 240 e 200 mm h⁻¹ respectivamente para as sequências SV, MV e RT (Figura 6).

Segundo a classificação da infiltração proposta por BERNARDO (2008), a taxa de infiltração no solo nas sequências de verão e inverno é classificada como muito alta (> 30 mm h⁻¹).

Salienta-se que estes resultados divergem da literatura, entretanto, solos argilosos bem estruturados podem possuir maior condutividade hidráulica, apresentando assim, maior taxa de infiltração. Segundo RESENDE et al. (1997), os Latossolos, mesmo quando muito argilosos, podem apresentar grande permeabilidade, em decorrência da estrutura granular muito pequena e muito bem expressa.

FERREIRA et al. (1999) avaliaram a condutividade hidráulica de sete diferentes classes de Latossolos, observaram, que o Latossolo Vermelho-escuro com 780 g kg⁻¹ de argila, apresentou o maior valor de condutividade hidráulica (619 mm h⁻¹).

Outro fator a ser considerado é o método de determinação da taxa de infiltração. SIDIRAS & ROTH (1984) determinaram a taxa de infiltração em um Latossolo-Roxo por infiltrômetro de anel e simulador de chuvas, observaram que os valores obtidos com o infiltrômetro de anel pode ser 12,8 vezes superiores que aqueles obtidos com o uso de simuladores de chuva.

A menor quantidade de resíduo vegetal na sequência SV, como verificado no Capítulo 3, não influenciou a taxa de infiltração, pois a sequência SV apresentou as maiores taxas de infiltração de água no solo.

O efeito da rotação de culturas no aumento da infiltração de água e na melhoria das condições físicas do solo foi constatado por ABREU et al. (2004). Tais autores verificaram maior infiltração de água na superfície do solo na cultura da soja em semeadura direta sob rotação com crotalária do que na monocultura de soja.

BARCELOS et al. (1999) avaliaram a infiltração de água em um Latossolo vermelho escuro, sob preparo convencional, cultivo mínimo e sistema de semeadura direta, verificaram que as maiores taxas de infiltração de água no solo ocorreram no cultivo mínimo, entretanto, as maiores quantidades de resíduo vegetal na superfície foram produzidas com o sistema de semeadura direta.

Era de se esperar que a quantidade de resíduo vegetal verificado na sequência MV, levaria à maior taxa de infiltração de água no solo. Entretanto, isso não foi observado no presente estudo.

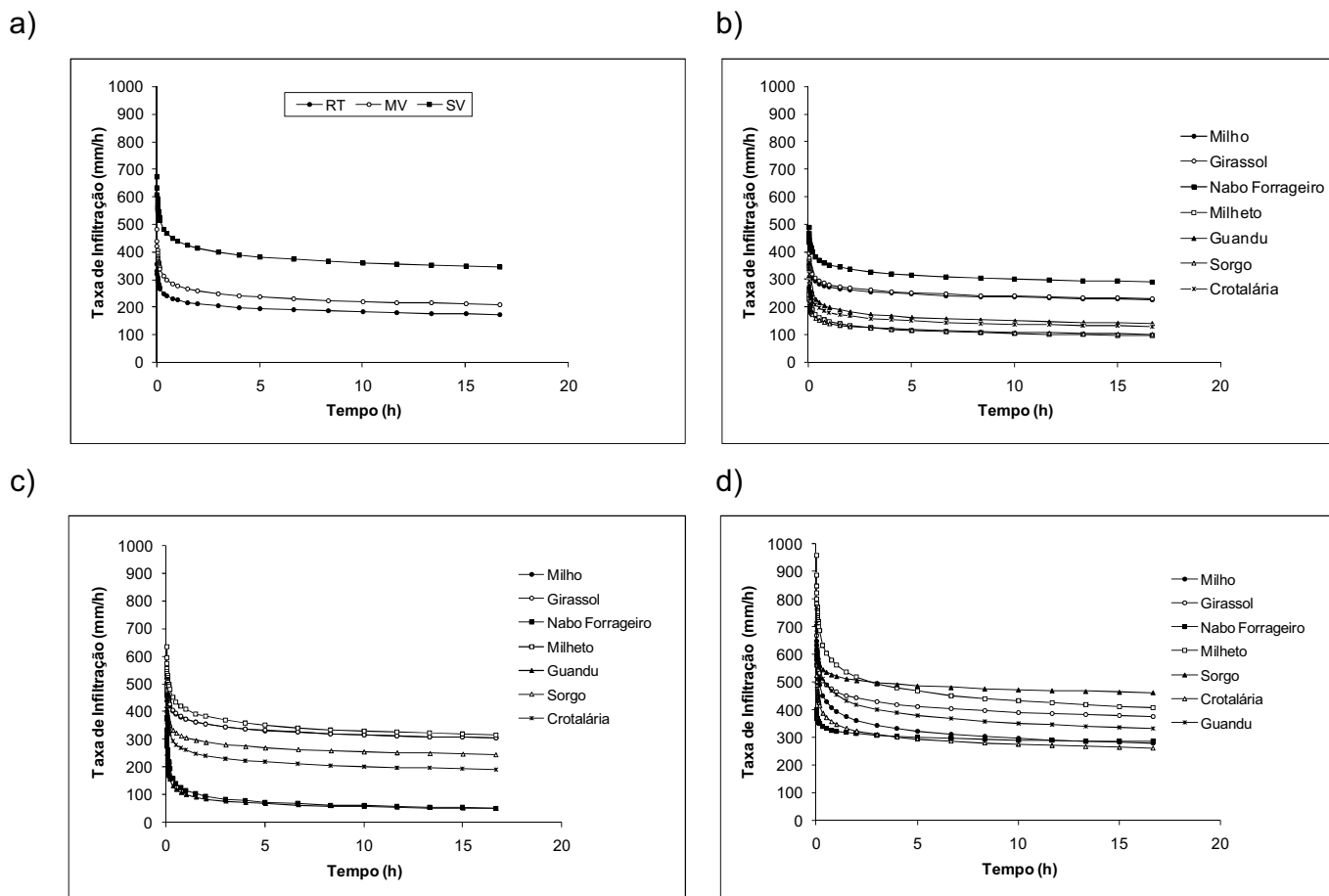


Figura 6. Velocidade de infiltração de água no solo nas sequências de verão (a) e entre as culturas de inverno na sequência RT (b), MV (c) e SV (d).

Na sequência RT e MV a velocidade de infiltração entre as culturas de inverno apresentou grande amplitude, com os valores variando de 100 a 400 mm h^{-1} (Figura 6).

Na sequência RT é possível separar as culturas de inverno em três grupos: um grupo com menores valores, como observado para milho, guandu, sorgo e crotalária; um grupo intermediário para milho e girassol e um grupo com o maior valor da taxa de infiltração como observado na parcela cultivada com nabo forrageiro. Entretanto, na sequência MV as parcelas cultivadas com nabo forrageiro e guandu apresentaram as menores taxas de infiltração quando comparada as demais.

A menor variação na taxa de infiltração de água no solo entre as culturas de inverno foi observada na sequência SV, cujos valores variaram entre 300 e 400 mm h⁻¹, entretanto, foi a sequência que apresentou as maiores taxas de infiltração.

AZOOZ et al. (1996) verificaram que, mesmo quando a densidade do solo foi maior e a porosidade total menor em solos sob sistema de semeadura direta comparado com solos revolvidos, a infiltração acumulada de água no solo foi igual ou maior no sistema de semeadura direta do que em solos revolvidos, o que foi atribuído à estrutura estável no sistema de semeadura direta e aumento do número de canais biológicos contínuos.

Em sistema de semeadura direta, além do resíduo vegetal na superfície do solo, existe também uma fração do resíduo parcialmente decomposto que interage com a superfície do solo e facilita a infiltração de água (BARCELOS et al., 1999). A combinação do efeito desse resíduo parcialmente decomposto, associada à macroporosidade, pode proporcionar aumento da infiltração de água no solo. Assim, a rápida degradação das leguminosas pode ter contribuído para as maiores taxas de infiltração na sequência SV.

4.4 CONCLUSÕES

A hipótese deste estudo não foi confirmada, ou seja, a densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade do solo não foi alterada pelo sistema de semeadura direta associado à sequências de culturas de verão e inverno.

A distribuição de poros por tamanho não foi influenciada pelas sequências de culturas de inverno.

O diâmetro de poros entre 0,075 - 0,05 mm e entre 0,03 - 0,0375 mm diferiu entre as sequências de verão, sendo maior na monocultura de milho na camada de 0,0-0,1 m.

A maior taxa de infiltração de água no solo ocorreu nas parcelas sob monocultura de soja.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco arenoso em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.

ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e Manejo de Irrigação**. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. 528 p.

ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 29, p. 963-975, 2005.

ALLEY, W.H.; HEALY, R.W.; LaBAUGH, J.W.; REILLY, T.E. Flow and storage in ground water systems. **Science**, v.296, p.1985-1990, 2002.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36. 2001.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v.35, p.1599-1607, 2006.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.109-121, 2007.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.411–418, 2009.

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

ASSIS JÚNIOR, R. N.; REICHARDT, K. Determinação do potencial mátrico da água no solo por tensiômetro de câmara de ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

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

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, S. E. Infiltração de água em Latossolo Vermelho escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.35-43, 1999.

BERALDO, J. M. G.; FERNANDES, E.J.; CORÁ, J. E. Tempo de contagem para determinação da atenuação de nêutrons em condições de campo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 1 CD-ROM.

BERNARDO, S.; SOARES, A.S.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2008. 625p.

BERTOL, I; CIPRANDI, O; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência de resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.705 – 712, 1998.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p.369-375, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

BESCANSA, P.; IMAZ, M. J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, A.; HOOGMOED, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.87, p.19-27, 2006.

BHATTACHARYYA, R; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; GUPTA, H. S. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 129-140, 2006.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H., 1986. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods. Madison: ASA-SSSA, 1986.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.449 – 457, 2000.

BOUMA, J. Measuring the conductivity of soil horizons with continuous macropores. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.438-441, 1982.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194 p.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.369-374, 1990.

BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.17-24, 2009.

CALEGARI, A. Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.80, p.62-70, 2004.

CALEGARI, A. **Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo de um Latossolo argiloso do Sul do Brasil**. Londrina, 2006. 191f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Londrina, 2006.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.383-391, 1999.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SOUSA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, Número Especial, p.2831-2838, 2008.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R. ; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.;

PASSINI, J. J. (Eds.) **Sistema Plantio Direto com Qualidade**, Foz do Iguaçu: ITAIPU BINACIONAL, 2006, p.212.

CASSEL, D.K.; KLUTE, A. Water potential: Tensiometry. In A. Klute (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9, ASA, and SSSA, Madison, WI. p. 563–596, 1986.

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

CENTURION, J.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n.3, p.263-266, 1985.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

CICHOTA, R.; HURTADO, A.L.B.; DE JONG VAN LIER, Q. Performance of a multi-level TDR system exposed to tropical field conditions – A time-space comparison with tensiometry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.352, n.2, p.181– 190, 2008.

COELHO, S.L.; TEIXEIRA, A. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.24, n.3, p.536-545, 2004.

COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. Organismos do solo e atividade microbiana no plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R. ; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J.

(Eds.) **Sistema Plantio Direto com Qualidade**, Foz do Iguaçu: ITAIPU BINACIONAL, 2006, p.212.

CORÁ, J. E. **Sistema de semeadura direta na região do município de Jaboticabal, SP: efeitos em atributos do solo e produtividade de culturas**. 2006. 87f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRUZ, T.; TEIXEIRA, A.S.; CANAFISTULA, J.F.; SANTOS, C.C.; OLIVEIRA, A.D.S.; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.33-45, 2010.

DA ROS, C.O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. 1993. 85f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

DAHIYA, R.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.96, p.52-63, 2007.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BIANCHI, C. A. M. **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 10 nov. 2010.

DAROLT, M. R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto**: pequena propriedade sustentável. Londrina: Iapar, 1998. p.16-45 (Circular, 101).

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

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT/Fecotriga/Fundação ABC/Aldeia Norte, 1993. p.19-27.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: **Dt. Ges. Fur Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**, Fundação IAPAR, 1991. 268p.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina, 1992, 2nd. Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR. Circular Técnica, 73), 80p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOUGLAS JÚNIOR., C.L.; ALLMARAS, R.R.; RASMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ROAGER JÚNIOR., N.C. Wheat straw composition and placement effects on

decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.833-837, 1980.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. **Soil water retention curve**, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba: USP, 2001.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina: CNPSo/EMBRAPA, 2008. 262p.

FABIAN, A.J. **Plantas de cobertura: Efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 83 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

FABRIZZI, K.P.; GARCÍA, F.O.; COSTA, J.L.; PICONE, L.I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p.57-69, 2005.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos**: Com énfasis en suelos de América Latina. 2.ed. San José: IICA, 1994. 420p.

FERNANDES, E. J. Comparação entre três métodos para estimar lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p. 36-46, 2008.

FERREIRA, M.M. **Caracterização física do solo**. In: JONG VAN LIER, Q. de (Org.). Física do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 298p. 2010.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 515-524, 1999.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 249-255, 1997.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.49-57, 2006.

GARCÍA-PRECHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J.A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.77, p.1-13, 2004.

GONZÁLES, A.P.; ALVES, M.A. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005.

HARGROVE, W. L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. **Agronomy Journal**, v.78, n.1, p.70-74, 1986.

HERMANN Jr., P.S. **Construção de um equipamento para medida de umidade do solo através de técnica de microondas**. 1993. 124f. Dissertação (Mestrado) – São Carlos: EESC/USP, 1993.

HILL, R.L.; CRUSE, R.M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.1270-1273, 1985.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413p.

JENKINSON, D.S.; AYANABA, A. Decomposition of carbon – 14 labelled plant material under tropical conditions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.912-915, 1977.

JI, S.; UNGER, P.W. Soil Water Accumulation under Different Precipitation, Potential Evaporation, and Straw Mulch Conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.442–448, 2001.

KARUNATILAKE, U.; van ES, H.M.; SCHINDELBECK, R.R. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfafa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.55, p.31-42, 2000.

KAY, B.D.; ANGERS, D.A. **Soil structure**. In: A. SUMNER, M.E., ed. Handbook of Soil Science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. Soil compaction and root growth in Paraná. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R., (Eds.). **The soil root system in relation to Brazilian agriculture**. Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), Londrina, PR, Brazil. 1981, p. 81–101.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba, 1998. 150f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

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

KLIEMANN, H.J.; BRAGA B. A. J. P.; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, 21-28, 2006.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Part 1: physical and mineralogical methods. 2nd. ed. Madison: American Society of Agronomy, p.635-662, 1986.

LAL, R.; MAHBOUBI, A.A.; FAUSEY, N.R.; Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.517-522, 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p. 207-220, 2002.

LAWLESS, G.P.; MACGILLIVRAY, N.A.; NIXON, P.R. Soil moisture interface effects upon readings of neutron moisture probes. **Soil Science Society America Proceedings**, v.27, p.502-507, 1963.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 329 p.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2209-2214, 2008.

LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S.C.F.; CONAGIN, A.; BERTONI, J. Rotação de culturas: análise estatística de um experimento de longa duração em Campinas (SP). **Bragantia**, v.61, n.2, p.127-141, 2002.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.

MARINHO, F.A.M., TAKE, W.A.; TARANTINO, A. Measurement of matric suction using tensiometric and axis translation techniques. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 26, n.6, p. 615-631, 2008.

MARQUES, J.P.; BENEZ, S.H. Manejo da vegetação espontânea para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto e preparo convencional do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n.1, p.13-26, 2000.

MARTHALER, H.P.; VOGELSANGER, W.; RICHARD, F.; WIERENGA, P.J. A pressure transducer for field tensiometers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, n.4, p.624-627, 1983.

MATZENAUER, R. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.35-43, 2003.

MIRANDA, J.H.; GONÇALVES, A.C.; CARVALHO, D.F. Água e solo In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**, 1, Piracicaba: SBEA, 2001. p.1-62. (Série Engenharia Agrícola).

MORAES, N.B.; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A.; OLIVEIRA, A.M.S. Avaliação de cápsulas de cerâmica de instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.58-63, 2006.

MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, p.106-111, 2008.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N. de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1079-1087, 2002.

OLIVEIRA, F. F.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; ESPINDOLA, A. A.; RICCI, M. S. F.; CEDDIA, M. B. Avaliação de coberturas mortas em cultura de alface sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v.26, n.2, p.216-220, 2008.

OR, D. Who invented the tensiometer ? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1-3, 2001.

OR, D.; WRAITH, J.M. Soil water content and water potential relationships. In: SUMMER, M.E. **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, n. 3, p. 139-150, 1991.

PAVAN, M.A.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SCHOLZ, M.F. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p.187-192, 1986.

PEREIRA, F.A.R.; VELINI, E.D. Sistemas de cultivo no cerrado e dinâmica de populações de plantas daninhas. **Planta daninha**, v.21, n.3, p. 355-363, 2003.

PETRY, M.T.; ZIMMERMANN, F.L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C.J.; KUNZ, J.H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, Número Especial, p.531-539, 2007.

PIERCE, F.J.; FORTIN, M.C.; STATON, M.J. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p.1782–1787, 1994.

PIRES, L ; CASSARO, F ; REICHARDT, K. ; BACCHI, O . Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 100, p. 72-77, 2008.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 929-938, 2000.

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

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2004. 478 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2.ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison, American Society for Testing and Materials, 1965. 770p. (Agronomy, 9).

RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M.T.B. da (Ed.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep; Fecotrigo, 1998. p.1-34.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, n.4, p.794-798, 2005.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo

distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.103-106, 1983.

SIDIRAS, N. ; ROTH, C. H. **Medições de infiltração com infiltrômetros e um simulador de chuvas em Latossolo Roxo Distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e sistemas de preparo**. Londrina; Instituto Agronômico do Paraná, 1984.13p.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.833-842, 2005.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A. A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.1011-1020, 2006.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular da soja em razão da sucessão de cultivo e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.855-860, 2002.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, p.240-244, 2003.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v.68, p.751-759, 2009.

SLONEKER, L.L.; MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, v.32, p.231-236, 1977.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; PROENÇA, M. M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 417-423, 2002.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

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

SU, Z.; ZHANG, J.; WU, W.; CAI, D.; LU, J.; JIANG, G.; HUANG, J.; GAO, J.; HARTMANN, R.; GABRIELS, D. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.87, p.307-314, 2007.

TAVARES FILHO, J. ; EIRA, G. C. ; FARINHA, L. R. L. Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.2, p.219-225, 1999.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, 2010.

TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, p.433- 436, 1965.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.161-168, 2005.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A. ; FRIEDRICH, R. ; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho eutroférico após dez anos sob dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.6, p.1023-1031, 2004.

VAN GENUCHTEN, M.T.A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.44, n.5, p.892-897, 1980.

WAGGER, M.G.; DENTON, H.P. Interaction of tillage and soil type on available water in a corn-wheat-soybean rotation, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam,v.23, n.1-2, p.27-39, 1992.

WHALLEY, W.R.; LOCK, G.; JENKINS, M.; PELOE, T.; BUREK, K.; BALENDONCK, J.; TAKE, W.A.; TUZEL, İ.H.; TUZEL, Y. Measurement of Low Matric Potentials with Porous Matrix Sensors and Water-Filled Tensiometers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.73, n.6, p.1796-1803, 2009.

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

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C.D.; COAKLEY, C.W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.1, p.47-54, 1996.

ZHANG, S.; LOVDAHL, L.; GRIP, H.; JANSSON, P.; TONG, Y. Modelling the effects of mulching and fallow cropping on water balance in the Chinese Loess Plateau. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, p.283–298, 2007.

ZHANG, S.; LOVDAHL, L.; GRIP, H.; TONG, Y.; YANG, X.; WANG, Q. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.102, p.78–86, 2009.