

QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB IRRIGAÇÃO E BRAQUIÁRIA EM LAVOURA DE CAFÉ NO CERRADO

Omar Cruz Rocha¹, Antonio Fernando Guerra², Maria Lucrécia Gerosa Ramos³,
Alberto da Silva Oliveira⁴, Gabriel Ferreira Bartholo⁵

(Recebido: 28 de janeiro de 2014; aceito: 13 de fevereiro de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito da irrigação e da braquiária em cobertura nas entrelinhas dos cafeeiros, sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho, do Planalto Central Brasileiro. O ensaio foi delineado em cinco blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 2 sendo dois regimes hídricos, irrigado e sequeiro, e dois sistemas de manejo das entrelinhas, com e sem braquiária. A estratégia de pesquisa fundamentou-se na investigação do armazenamento de água do solo com base na distribuição da porosidade, em função do comportamento dos atributos físico-hídricos nos diferentes tratamentos. Foram coletadas amostras de solo em duplicada em cada parcela experimental, nas profundidades de 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 m. O regime de irrigação aumentou a densidade do solo na camada superficial do solo, sem prejudicar sua capacidade de armazenamento de água. Em relação à braquiária houve efeito positivo de suas raízes sobre os atributos físico-hídricos do solo, provendo o incremento da Microporosidade de baixa retenção (Mib), caracterizada pelo aumentando da amplitude na curva de retenção, na faixa de tensão correspondente a água prontamente disponível (APD), que foi acrescida em 18% ao longo do perfil.

Termos para indexação: Armazenamento de água no solo, plantas de cobertura, manejo do solo.

PHYSICAL-HYDRIC QUALITY OF OXISOL UNDER IRRIGATION AND BRACHIARIA IN FARMING OF COFFEE IN THE CERRADO REGION

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation and cultivation of brachiaria among coffee trees lines on physical-hydric Oxisol quality at Brazilian central plateau. The experiment was carried out in five randomized blocks in a factorial design 2 x 2, with two water treatments, irrigated and rainfed systems, and two management systems, with and without brachiaria between coffee trees lines. The research strategy was based on studying soil water storage based on porosity distribution due to the behavior of physical parameters in different water and management treatments. Soil samples were collected in duplicate in each plot at depths from 0.0 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 and 0.20 m. The irrigation regime increased soil bulk density in the surface layer without reducing its readily available water that, due to presence of brachiaria was increased by 18%. In general, irrigated brachiaria had a positive effect on the physical-hydric soil characteristics of the soil and promoted an increase in readily available soil microporosity from the redistribution of pore diameter characterized by increasing retention curve amplitude in the soil water tension range corresponding to the readily-available water.

Index terms: Soil water storage, cover crops, soil management.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a sustentabilidade dos solos do cerrado esteve vinculada à existência de gramíneas adaptadas ao Bioma, que eram consideradas como importantes fornecedoras de carbono para solo. Essa contribuição cíclica favorecia a atividade biológica, a estruturação do solo e, por conseguinte, a disponibilização e ciclagem de nutrientes para as demais espécies vegetais. Atualmente, as gramíneas vêm sendo empregadas em pastagens muitas vezes degradadas no cerrado brasileiro e as braquiárias,

em particular, têm predominância de uso em atividades pecuárias e são classificadas como plantas invasoras em lavouras perenes.

Em levantamento recente, foram identificados na região dos cerrados 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5% da área total do bioma. Duas são as classes de uso mais representativas, as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, ocupando, respectivamente, 26,5% e 10,5% do cerrado (SANO et al., 2008). Dentre as culturas agrícolas perenes, o café (*Coffea arabica* L.) se destaca com uma produção de 5,9 milhões

¹Embrapa Cerrados - BR 020 - Km 18 - Planaltina - DF - 73310-970 - Cx. P. 08223 omar.rocha@embrapa.br

^{2,5}Embrapa Café - Parque Estação Biológica/PqEB s/nº - Brasília - DF - 70770-901- antonio.guerra@embrapa.br, gabriel.bartholo@embrapa.br

^{3,4}Universidade de Brasília - Campus Universitário Darcy Ribeiro - ICC - Centro - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Asa Norte - Brasília - DF - 70.910-970 - lucrecia@unb.br, dasilva@unb.br

de sacas, representando 15,4% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014). Nesse caso, o cerrado mineiro lidera a produção, com 5,2 milhões de sacas, e contribui com mais de 90 mil empregos diretos e 270 mil indiretos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2014).

A expansão da cafeicultura em áreas marginais onde as chuvas são insuficientes ou mal distribuídas no decorrer do ano, como na região do cerrado, tornou a irrigação uma prática indispensável para viabilizar a atividade, devido aos aumentos de produtividade da cultura (BONOMO et al., 2008; COELHO; SILVA, 2005; COSTA et al., 2013; FARIA; SIQUEIRA, 2005; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008) e da qualidade do café produzido (MARTINS et al., 2007). Por outro lado, essa expansão se deu, predominantemente, sobre a classe dos Latossolos (EBERHARDT et al., 2008), que ocupa cerca de 50% da área de cerrado do Brasil. Esses solos caracterizam-se por seu elevado grau de intemperismo, baixa fertilidade natural, contrastando com a elevada estabilidade dos agregados, baixa densidade do solo, alto volume de macroporos e alta friabilidade, características que favorecem sobremaneira o seu manejo (OLIVEIRA et al., 2004), mas que, no entanto, desfavorecem a sua capacidade em reter água.

A maioria dos trabalhos científicos tem priorizado o aumento da eficiência de aplicação e uso da água de irrigação com base em ferramentas operacionais e na modernização dos equipamentos. Não obstante, outra forma seria favorecer a capacidade do solo em armazenar água a partir da adoção de sistemas de manejo que promovam o incremento da matéria orgânica no solo. Os complexos organo-minerais, resultantes da associação da matéria orgânica com os minerais do solo, proporcionam benefícios diretos e indiretos na capacidade do solo em reter água (RESCK et al., 2008) e isso ocorre devido a importantes contribuições dessa associação para a melhoria na qualidade física dos solos (QFS), condição fundamental para a sustentabilidade global dos agroecossistemas (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005) e, além disso, essa associação está intimamente relacionada à qualidade físico-hídrica do solo (QFHS).

A QFHS pode ser entendida como o resultado da interdependência dos atributos estruturais do solo, no sentido de equilibrar sua capacidade de armazenar água e ar, de forma a contribuir para o desenvolvimento vegetal sem limitar a atividade microbológica no solo.

Em sistemas conservacionistas, o uso de plantas de cobertura é uma importante prática, pois protege a superfície dos solos contra os agentes erosivos, adiciona C e N; recicla nutrientes e melhora a estabilidade da estrutura. Além disso, promove a formação e manutenção de agregados, pelas raízes (RESCK et al., 2008), propriedades indispensáveis para manutenção e melhoria na QFHS.

O efeito de sistemas de uso e manejo sobre as propriedades físicas do solo e culturas tem sido tema de várias pesquisas (BEUTLER; CENTURION; ROQUE, 2004; NUNES et al., 2010; SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005; SPERA et al., 2009). Contudo, os trabalhos relacionados a plantas de cobertura entre fileiras de plantas perenes têm sido conduzidos em regiões com características distintas do cerrado. Nesta região, a informação existente baseia-se em sistemas que envolvem a sucessão de cultivos com plantas anuais, no uso de leguminosas, nas entrelinhas de culturas (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; ANDRADE et al., 2002) e no crescimento inicial de mudas de café, quando submetidos a diferentes densidades de plantio de braquiária (DIAS; ALVES; DIAS, 2004).

O uso de leguminosas poderia ser adequado ao sistema produtivo de café não fossem as limitações operacionais relacionadas ao estabelecimento e a condução dessas espécies nas entrelinhas. Para Guedes et al. (1996), no entanto, gramíneas, particularmente a braquiária, podem melhorar a QFHS a partir da ação direta de suas raízes na estruturação do solo. Nos sistemas de manejo que utilizam gramíneas perenes como plantas de cobertura, essas apresentam ação agregante mais prolongada do que as leguminosas, devido à presença de um sistema radicular fasciculado, mais denso e com maior contato com as partículas do solo (PALADINI; MIELNICZUK, 1991).

A adaptabilidade às condições locais, arquitetura adequada ao sistema produtivo da cultura, perenidade, facilidade de ressemeadura natural, rusticidade, facilidade de manutenção e resistência à mecanização são características desejáveis na seleção de uma planta de cobertura. Nesse sentido, partindo-se dessas premissas, a braquiária apresenta alto potencial como planta de cobertura para lavouras de café, contudo, a carência de informações sobre os impactos dessa gramínea no sistema produtivo demanda estudos mais detalhados que fundamentem, cientificamente, o emprego ou não dessa prática pelos produtores.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito da irrigação e da braquiária em cobertura nas entrelinhas dos cafeeiros sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho do Planalto Central Brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizada na cidade de Planaltina, Distrito Federal, Brasil (15°35'30"S, 47°42'30"W e 1007 m). A região encontra-se inserida no bioma cerrado e apresenta, segundo a classificação Köppen, clima do tipo CWh1 com precipitação média anual de 1.460 mm e temperatura média de 21,3 °C. A área experimental está sob um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), de textura argilosa.

Antes do experimento, a análise química do solo (camada de 0-20 cm) apresentou: pH em água 5,2; Al³⁺ (4,3 mmolc dm⁻³); Ca²⁺ (22,9 mmolc dm⁻³); Mg²⁺ (8,3 mmolc dm⁻³); H + Al (76,0 mmolc dm⁻³); P (1,4 mg dm⁻³); K (61,2 mg dm⁻³) e saturação de alumínio em 12%. Para análise granulométrica, os níveis médios de argila, silte, areia fina e grossa foram 601, 116, 47 e 236 g kg⁻¹, respectivamente, na camada de 0-20 cm.

De janeiro de 2000 a dezembro de 2007 a área foi conduzida com *Urochloa decumbens* (Stapf) R. D. Webster (sinonímia *Brachiaria decumbens*) sem pastejo. Os cafeeiros (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí vermelho IAC 144, foram plantados em dezembro de 2007 no espaçamento de 3,50 por 0,70m, em dois regimes hídricos (RH): Irrigado (I), com aplicação de estresse hídrico para uniformização da florada (GUERRA et al., 2007) e sequeiro (S). Foram também adotados dois sistemas de manejo das entrelinhas (SM) dos cafeeiros: Com braquiária (B) e tradicional, com ruas descobertas (T). O ensaio foi delineado em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, sendo dois regimes hídricos (RH) e dois sistemas de manejo das entrelinhas (SM), em cinco repetições, sendo a parcela experimental constituída por nove plantas, das quais cinco centrais foram consideradas úteis e as demais bordadura.

Na implantação do experimento foram adicionados 120 g de superfosfato triplo (SFT), 50 g de termofosfato magnésiano (Yoorin®) e 24,5 g de fritted trace elements (FTE) por cova. A calagem foi de duas toneladas por hectare de calcário dolomítico, para elevar a saturação por bases para 50%, sendo metade aplicada antes da aração e o restante antes da gradagem. O manejo nutricional foi realizado conforme Guerra et al. (2008).

O manejo da braquiária resumiu-se a roçagens ocorridas quando a planta atingia uma altura média de 0,60 m, permanecendo os restos culturais na área. No tratamento tradicional, o solo foi mantido livre de plantas invasoras com auxílio de capinas manuais, permanecendo também os restos culturais nas respectivas parcelas.

No regime hídrico irrigado, os cafeeiros foram plantados sob um sistema mecanizado de aspersão do tipo pivô central. O critério de manejo de irrigação fundamentou-se no monitoramento do conteúdo de água do solo, sendo que o momento de irrigação ocorria sempre que a umidade, na profundidade de 0,10 m, correspondia ao consumo de 50 % da água disponível (ROCHA et al., 2008). O monitoramento do conteúdo de água foi realizado com o auxílio de sondas de umidade ML1 (Delta-T® Devices). No regime hídrico de sequeiro somente no primeiro ano após o plantio os cafeeiros receberam irrigação suplementar visando garantir o estabelecimento da cultura.

As amostragens de solo foram realizadas no mês de março, em 2011 e 2012, no período de granação dos frutos. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em duplicada em cada parcela experimental, na projeção da copa e equidistantes, ao longo da parcela, nas profundidades de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 m. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis de 50 mm de diâmetro e 51 mm de altura para determinação da densidade do solo (Ds) e da capacidade de retenção de água determinada pelo método da centrífuga. Foram utilizadas as tensões de água correspondentes a 1, 3, 6, 10, 33, 60, 100 e 1.500 kPa. Para isso, as amostras foram previamente saturadas por 24 h e submetidas a rotações variadas da centrífuga por um período de 30 min (FREITAS JÚNIOR; SILVA, 1984). Com as amostras deformadas, avaliou-se a distribuição granulométrica do solo pelo método da pipeta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997).

Os pontos experimentais das curvas de retenção foram ajustados a partir da equação de Genuchten (1980) (equação 1), empregando-se a restrição proposta por Mualem (1974), $m = [1 - (1/n)]$. Para o ajuste, utilizou-se o programa SAS® 9.2 (NLIN Procedure) obtendo os parâmetros empíricos de ajuste, α , m e n .

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

em que, θ = conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_s = conteúdo de água na condição de solo saturado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_r = conteúdo de água residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), ψ_m = potencial mátrico da água no solo (kPa) e α , m , n = parâmetros empíricos da equação.

Para a obtenção das curvas características de água do solo, os valores da umidade volumétrica foram ajustados de acordo com a tensão da água no solo ($\theta = f(\psi_m)$), utilizando-se planilhas de cálculo. A avaliação da disponibilidade de água do solo foi obtida pela determinação da água disponível total (ADT) e da água prontamente disponível (APD), a partir das seguintes expressões: $ADT = \theta_6 - \theta_{1.500}$ e $APD = \theta_6 - \theta_{100}$, onde θ_6 , θ_{100} e $\theta_{1.500}$ correspondem às umidades volumétricas equivalentes às tensões matriciais de 6, 100 e 1.500 kPa.

Para quantificar os poros por tamanho, baseou-se na expressão matemática proposta por Bouma (1991): $D = 4 s \cos \theta / \psi_m$, sendo D o diâmetro do poro (μm); s a tensão superficial da água (73,43 kPa μm a 20 °C); θ o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como 0) e ψ_m a tensão de água no solo (kPa). Seguindo sugestões de Santos (1997), o diâmetro do poro foi relacionado com a tensão aplicada à amostra, correspondente a um número de rotação utilizada na centrífuga, diferente, portanto, da metodologia original, que se baseia na ascensão da água em um tubo capilar (BOUMA, 1991).

Visando o entendimento da dinâmica das variações do volume do espaço poroso do solo em função do RH e do SM, determinou-se a porosidade total (PT), considerando-a igual a θ_s , e os volumes de microporos (MIC) para as diferentes camadas. Paralelamente, para determinar a distribuição relativa dos poros estratificou-se a porosidade de acordo com o diâmetro em percentagens de macroporos (Mac) e de criptoporos (Crip). Nessa classificação, considerou-se: Mac, aqueles com diâmetro maior que 48 μm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa) e Crip, poros com diâmetro menor que 0,2 μm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1.500 kPa). Visando um entendimento mais abrangente do impacto das raízes da braquiária no diâmetro e distribuição dos microporos, essa classe foi dividida em dois grupos: percentagem de microporos associados à água prontamente disponíveis, aqui denominados microporos de baixa retenção (Mib), e percentagem de microporos remanescentes, aqui denominados microporos remanescentes (Mir).

Nessa subclassificação, foram considerados: Mib, aqueles com diâmetro entre 3 e 48 μm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 100 kPa), correspondentes à APD, e Mir, aqueles com diâmetro entre 0,2 e 3 μm (que são esvaziados a tensões entre 100 e 1.500 kPa). A análise estatística envolveu inicialmente uma abordagem descritiva, visando entender a distribuição dos dados, os quais foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que comprovou a normalidade, e em seguida à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey ($p < 0,05$), para a comparação das médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores estimados da evapotranspiração referência (Eto), os valores de precipitação (P) e os valores de água aplicada via irrigação, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012.

Como era esperado para a região de cerrado, houve concentração das precipitações entre os meses de novembro e março em que os valores, em geral, superaram aos da Eto. Também pode ser visto que, de forma geral, durante os meses de abril a outubro que a precipitação foi inferior à Eto, ocorrendo déficit hídrico, no período, nos tratamentos não irrigados.

Mesmo sendo verificado um valor pluviométrico considerável durante o período em que o experimento foi conduzido, com média anual de 1400,6 mm, o mesmo apresentou-se com má distribuição, justificando o uso da irrigação para suprir a deficiência hídrica. Observa-se que, de julho a agosto não houve irrigação devido ao período de estresse hídrico para uniformização da florada, no entanto, a partir de setembro até junho aplicou-se, em média, 917,5 mm de água.

Os valores F e a significância das análises de variância dos fatores de efeito, bem como suas interações, em relação aos atributos físico-hídricos do solo são apresentados na Tabela 1 para as camadas A (0,0-0,05 m), B (0,05-0,10 m) e C (0,10-0,20 m).

Para a camada A, houve diferença significativa do regime hídrico (RH), em relação à densidade do solo (Ds), microporosidade (MIC), porosidade total (PT) ($p < 0,05$); percentagem de macroporos (Mac) e percentagem de criptoporos (Crip) ($p < 0,01$) (Tabela 1). Na Tabela 2, observa-se que a Ds foi maior nos tratamentos irrigados (0,99 Mg m^{-3}) do que nos conduzidos em sequeiro (0,91 Mg m^{-3}), diferindo significativamente entre si e indicando uma pequena redução no espaço poroso em função da irrigação.

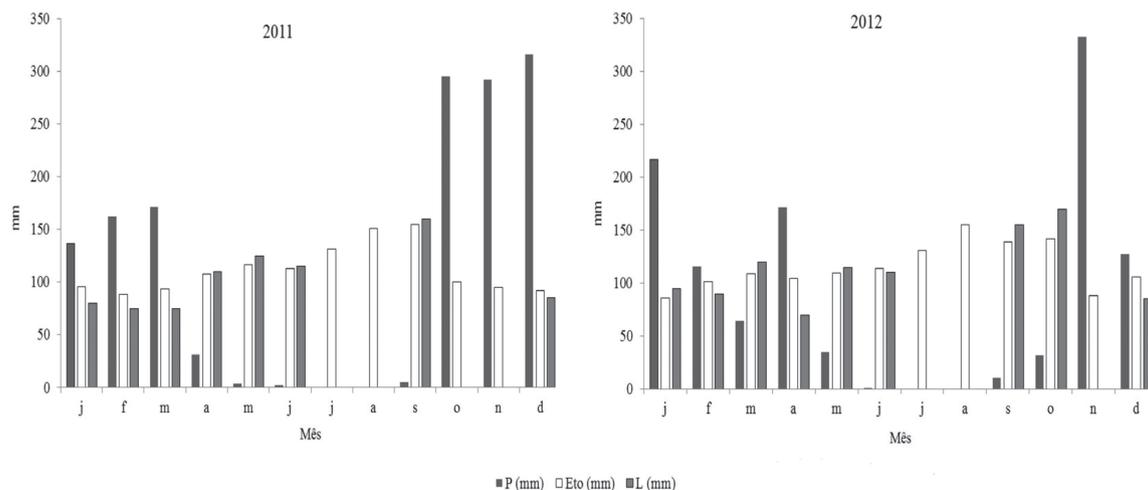


FIGURA 1 - Totais mensais (mm) para evapotranspiração de referência (Eto), precipitação (P), água de irrigação (L) de janeiro de 2011 a dezembro de 2012. EMBRAPA CERRADOS, Planaltina, DF.

Observou-se ainda que, nos tratamentos irrigados, houve aumento na MIC (+0,04 m^3m^{-3}) e na Crip (+4,8%) com redução na Mac (-4,3%), delimitando a redução do espaço poroso à classe dos macroporos.

Nesta linha de estudo, são poucos os trabalhos científicos na região de Cerrado. No entanto, Jorge et al. (2012), avaliando atributos físicos do solo em função da época de amostragem e tipos de usos do solo, observaram que os valores de Ds foram maiores no período chuvoso e os autores atribuíram esses resultados ao fato de que, nessa época, o solo recebe diversas cargas de pressão junto com operações mecanizadas para a condução da cultura, situação semelhante à ocorrida em lavouras cafeeiras irrigadas. Araújo Junior et al. (2011), avaliando diferentes sistemas de manejo da entrelinha de cafeeiros, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo na região de Patrocínio-MG, concluíram que a camada 0 - 0,03 m apresentou maior capacidade de suporte de carga para umidades superiores a 0,20 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Da mesma forma, Marchão et al. (2007), estudando a qualidade física de um Latossolo, também constataram maiores Ds na camada de 0 - 0,05 m, em área de braquiária associada com soja sob plantio direto, indicando que quanto mais próximo da superfície maior o efeito das pressões proporcionadas pelo manejo.

Por outro lado, houve diferença significativa ($p < 0,01$) do sistema de manejo (SM) em relação aos microporos de baixa retenção (Mib) (Tabela 1), que foram acrescidos em 11% na presença da braquiária, haja vista que variou de 17,7% nos tratamentos conduzidos de forma tradicional até

19,7% naqueles com braquiária, diferindo-os significativamente, mas, sobretudo, indicando a conversão dos macroporos em microporos associados à água prontamente disponível (APD) que, por consequência, também foi influenciada significativamente pela presença da braquiária ($p < 0,05$), haja vista que proporcionou um acréscimo de 0,02 m^3m^{-3} na APD, passando de 0,11 m^3m^{-3} , nos tratamentos em sistema tradicional, para 0,13 m^3m^{-3} naqueles com braquiária, o que equivale a 1,0 mm de água a mais nos primeiros 0,05 m do solo. Contudo, devido a uma pequena redução na Mir (- 0,2%), condicionada pelos fatores RH e SM, a água disponível total (ADT) não foi influenciada significativamente, muito embora também tenha tido um acréscimo de 0,01 m^3m^{-3} (Tabelas 1 e 2).

Nas camadas B e C, o SM proporcionou efeito significativo sobre os atributos do solo, causando variações na Mib ($p < 0,01$) e, conseqüentemente, no armazenamento de água (ADT e APD) ($p < 0,05$) (Tabela 1). Observa-se, nas Tabelas 2 e 3, que o manejo com braquiária foi responsável pelo aumento de 15% e 17% na Mib nas camadas C e B, respectivamente, os quais promoveram acréscimo de 0,02 m^3m^{-3} na APD e, por conseguinte, na ADT. Esse comportamento demonstra que, livre das pressões do manejo ocorridas normalmente na camada superficial, a braquiária tende a funcionar como condicionadora física na estrutura do solo, com reflexos diretos no armazenamento de água, confirmando as afirmações de Guedes et al. (1996) de que as gramíneas, particularmente a braquiária, podem melhorar a qualidade físico-hídrica do solo (QFHS) a partir da ação direta de suas raízes na estruturação do solo.

TABELA 1 - Valor F e significância das análises de variância dos fatores de efeito, regime hídrico (RH) e sistema de manejo das entrelinhas dos cafeeiros (SM), e suas interações sobre densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIC), água disponível total (ADT), água prontamente disponível (APD), porcentagem de macroporos (Mac), porcentagem de criptoporos (Crip), microporos de baixa retenção (Mib) e microporos remanescente (Mir), nas camadas A, B e C.

Atributos Físico-hídricos	RH (A)			SM (B)			A x B		
	— 0,0 - 0,05 m (A) —			— 0,05 - 0,10 m (B) —			— 0,10 - 0,20 m (C) —		
Ds	5,44*	0,03	0,86	0,19	3,21	0,85	0,55	1,07	0,72
MIC	7,21*	1,93	1,04	0,03	1,10	1,95	0,53	3,33	1,20
PT	6,74*	0,24	0,24	0,02	0,59	0,41	0,04	0,41	0,13
ADT	0,77	0,31	1,85	0,87	5,15*	0,45	2,45	5,56*	0,27
APD	0,05	5,89*	0,44	0,65	10,47*	0,16	0,31	7,64*	0,03
Mac	14,95**	2,97	3,46	0,17	0,11	2,13	6,47*	4,36	2,97
Mib	0,05	14,46**	0,82	2,53	8,70**	0,00	0,51	23,42**	0,11
Mir	0,43	0,06	0,03	0,58	0,37	1,07	0,96	0,02	0,00
Crip	14,42**	0,02	1,84	0,02	6,78**	3,55	9,00**	0,29	4,46

RH: Regime hídrico (irrigado e sequeiro), SM: Sistema de manejo (com *Urochloa decumbens* e Tradicional), *, **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

TABELA 2 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,0 - 0,05 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	kg.m ⁻³	0,99a	0,91b	0,95a	0,95a	7,2
MIC		0,43a	0,39b	0,40a	0,42a	6,5
PT	↑	0,59b	0,63a	0,62a	0,61a	5,0
ADT	m ³ .m ⁻³	0,17a	0,16a	0,17a	0,16a	19,2
APD	↓	0,12a	0,12a	0,13a	0,11a	9,6
Mac		32,2b	36,5a	33,4	35,3	5,5
Mib	↑	18,6a	18,7a	19,7a	17,7b	6,3
Mir	%	6,1a	6,5a	6,2a	6,3a	14,8
Crip	↓	43,0a	38,2b	40,6a	40,8a	5,7

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Contudo, na camada C, de forma análoga à camada A, houve ainda diferença significativa do RH em relação à percentagem de macroporos (Mac) ($p < 0,05$) e percentagem de criptoporos (Crip) ($p < 0,01$) (Tabela 1) com redução de 15% na Mac e acréscimo de 13% na Crip, demonstrando uma leve compactação padronizada, ao longo do perfil, muito embora na camada intermediária essas variáveis não tenham se modificado de forma significativa (Tabelas 3 e 4).

É patente afirmar que a irrigação, com uma logística de tráfego e manejo inadequados, pode contribuir para a compactação do solo, principalmente, nas camadas superficiais. A sustentabilidade de um sistema de produção irrigado depende, portanto, do manejo adotado. Entretanto, solos ligeiramente compactados podem ter alta atividade radicular, visto que as raízes podem utilizar os macroporos ainda existentes no interior dos agregados para o crescimento e desenvolvimento (AKKER; SOANE, 2005).

TABELA 3 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,05 - 0,10 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	kg.m ⁻³	0,96a	0,98a	1,01a	0,92a	10,6
MIC		0,41a	0,41a	0,41a	0,40a	7,0
PT	↑	0,62a	0,62a	0,61a	0,63a	6,3
ADT	m ³ .m ⁻³	0,15a	0,14a	0,16a	0,14a	12,5
APD	↓	0,12a	0,11a	0,13a	0,11a	10,6
Mac		35,8a	36,8a	36,7a	35,9a	16,6
Mib	↑	19,0a	17,7a	19,6a	17,1b	8,5
Mir	%	5,1a	5,7a	5,6a	5,2a	20,7
Crip	↓	40,0a	39,8a	38,0b	41,8a	8,0

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,10 - 0,20 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	kg.m ⁻³	0,95a	0,85a	0,96a	0,84a	26,4
MIC		0,40a	0,39a	0,41a	0,39a	6,9
PT	↑	0,63a	0,62a	0,62a	0,63a	5,6
ADT	m ³ .m ⁻³	0,15a	0,14a	0,16a	0,14b	12,8
APD	↓	0,12a	0,12a	0,13a	0,11b	11,5
Mac		33,0b	37,7a	33,4a	37,3a	11,0
Mib	↑	19,7a	19,3a	21,0a	18,0b	6,3
Mir	%	4,4a	4,9a	4,7a	4,6a	26,6
Crip	↓	42,9a	38,1b	40,9a	40,0a	8,7

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Não obstante, em geral, considera-se que o volume de macroporos de $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ representa boa aeração; entre $0,10$ e $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, uma limitada troca gasosa; e abaixo de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, aeração deficiente (STEPNIEWSKI; HORN; MARTYNIUK, 2002) ou solo compactado (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004). Desse modo, o solo em estudo pode ser considerado com boa aeração, uma vez que, na presença da braquiária, o volume médio de macroporos foi de $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Por consequência de um maior grau de estruturação do solo, proporcionado pelo sistema radicular da braquiária, observou-se, em todas as camadas de solo estudadas, incrementos significativos na microporosidade de baixa retenção (Mib), indicando que a ação agregante atribuída por Guedes et al. (1996) ao sistema radicular da braquiária, é possivelmente o recurso para aumentar o armazenamento de água no solo, o qual foi obtido a partir da produção de microporos com diâmetro entre 3 e $48 \mu\text{m}$, ou seja, aqueles correspondentes à APD, uma vez que a microporosidade remanescente (Mir), correspondente à proporção de microporos remanescentes necessário para complementar a água disponível total (ADT), não foi influenciada por nenhum dos fatores.

Nesse sentido, a distribuição relativa média das classes de poros é apresentada na Figura 2, onde se comparam os tratamentos com braquiária com aqueles conduzidos no sistema tradicional de manejo, e se comprova que a braquiária promoveu a redistribuição de poros com ganhos significativos na Mib. De outra forma, na Figura 3, constata-se alteração no traçado da curva de retenção de água no solo, em função da presença da braquiária irrigada permitindo afirmar, com base no acréscimo ocorrido para Mib, que houve redistribuição no diâmetro dos poros, similar ao obtido por Klein e Libardi (2002).

A soma da microporosidade de baixa retenção (Mib) com a microporosidade resmanescente (Mir) corresponde ao espaço poroso responsável pela água disponível total (ADT) do solo. Dessa forma, observou-se que, nos tratamentos em sistema tradicional, a Mib média, considerando-se todas as camadas, representou 77% dos microporos responsáveis pela ADT, e que a mesma relação considerando a presença da braquiária representou 79%, correspondendo a um incremento de 2,6% em função do manejo com braquiária nas entrelinhas.

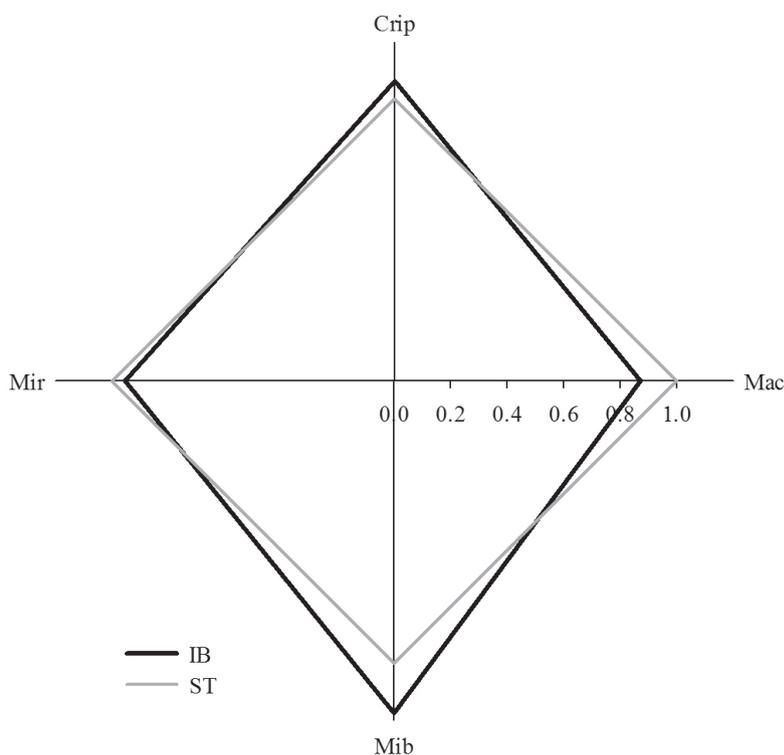


FIGURA 2 - Distribuição relativa das classes de poros do solo entre os tratamentos irrigados com braquiária (IB) e em sequeiro no sistema de manejo tradicional (ST), no perfil de 0-0,20 m.

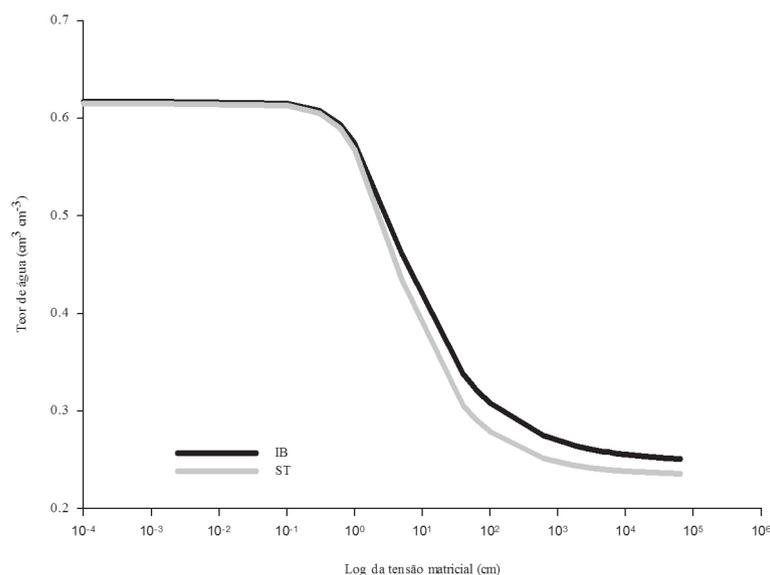


FIGURA 3 - Curvas médias de retenção de água para os solos dos tratamentos irrigados com braquiária (IB) e sequeiro tradicional (ST), para o perfil de 0-0,20 m.

Esse aumento embora sutil corresponde ao deslocamento de 6,5 m³ de água por hectare para uma faixa de tensão de maior facilidade de absorção pelas culturas, levando-se em conta a camada de 0,20 m e considerando a ADT média de 1,63 mm.cm⁻¹ do solo em estudo.

Historicamente, houve consenso entre os pesquisadores de que a matéria orgânica tinha pouco ou nenhum efeito sobre a capacidade de água disponível do solo. No entanto, Hudson (1994) encontrou correlações positivas altamente significativas entre a quantidade de matéria orgânica e a ADT em todos os grupos de solo por ele estudados. Mais recentemente, constatou-se que compostos orgânicos podem melhorar as relações solo-água-plantas modificando a densidade do solo, a porosidade total e a relação água no solo (SULTANI et al., 2007), especialmente em baixas succões, uma vez que a umidade na capacidade de campo do solo aumenta linearmente com o aumento no teor de matéria orgânica do solo (BRAIDA et al., 2010).

De forma similar, considerando-se as três camadas de solo em estudo, houve um aumento médio de 18% na APD em função da presença da braquiária nas entrelinhas dos cafeeiros, haja vista que a média de APD variou de 1,1 a 1,3 mm.cm⁻¹ na ausência e na presença da braquiária, respectivamente. Esse resultado equivale à adição, nos primeiros 20 centímetros do perfil do solo, de 40 m³ de água por hectare ou de uma lâmina de 4,0 mm.

4 CONCLUSÕES

O regime hídrico irrigado alterou levemente a densidade do solo na camada superficial do solo. Por outro lado, o sistema de manejo das entrelinhas do cafeeiro com a braquiária como planta de cobertura promoveu, na camada de 0,0 a 0,20 m, alterações nos atributos físico-hídricos do solo, resultando no aumento de 18% na água prontamente disponível do solo. Esse aumento pode ser atribuído à conversão de macroporos em microporos de baixa retenção (Mib) devido à ação agregante do sistema radicular da braquiária que, quando associada à irrigação, proporcionou aumento na amplitude da curva de retenção na faixa de tensão água correspondente à água prontamente disponível (APD). Nesse contexto, a Mib demonstrou potencial para ser usada como indicador da qualidade físico-hídrica do solo, uma vez que se mostrou eficientemente sensível às variações na capacidade de armazenamento de água do solo, em função do manejo.

5 REFERÊNCIAS

- AKKER, J. J. H. van de; SOANE, B. Compaction. In: HILLEL, D. et al. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. New York: Academic, 2005. v. 1, p. 285-293.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.

- ANDRADE, L. R. M. et al. **Cobertura de solos em pomares de maracujazeiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 24 p. (EMBRAPA Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).
- ARAUJO JUNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 115-131, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ. **Notícias do café**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=59&inford=1451>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 365-371, 2004.
- BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 233-240, 2008.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 46, p. 1-37, 1991.
- BRAIDA, J. A. et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 131-139, 2010.
- COELHO, G.; SILVA, A. M. O efeito da época de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 400-408, 2005.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café 2013: quarta estimativa**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- COSTA, A. R. da et al. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 55-65, 2013.
- DIAS, G. F. da S.; ALVES, P. L. da C. A.; DIAS, T. C. de S. Brachiaria decumbens supresses the initial growth of Coffea arabica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 579-583, 2004.
- EBERHARDT, D. N. et al. Influência da granulometria e da mineralogia a retenção de fósforo em latossolos sob pastagem no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1009-1016, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares sob diferentes regimes hídricos. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.
- FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 1423-1428, 1984.
- GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- GUEDES, H. M. et al. Caracterização da distribuição do tamanho de agregados de diferentes sistemas de manejo e seu conteúdo de carbono em Latossolo vermelho-escuro na região dos Cerrados, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 329-333.
- GUERRA, A. F. et al. Resposta do cafeeiro arábica a aplicação de fósforo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., 2008, Araguari. **Resumos Expandidos...** Araguari: EMBRAPA Café, 2008. p. 62-66.
- GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Irrigação & Tecnologia Moderna - ITEM**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.
- HUDSON, B. D. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 49, n. 2, p. 189-194, 1994.

- JORGE, R. F. et al. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 159-169, 2012.
- 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 da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.
- LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. de; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeirassafra irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 2560-2568, nov./dez. 2008.
- MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, jun. 2007.
- MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis**. Washington, 2005.
- MUALEM, Y. **A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils, technical report**. Haifa: Israel Institute of Technology, 1974.
- NUNES, L. A. P. L. et al. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 71-78, 2010.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 327-336, 2004.
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 131-143, 2004.
- PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho dos agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 135-140, 1991.
- RESCK, D. V. S. et al. Manejo do solo sob um enfoque sistêmico. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Org.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2008. p. 417-473.
- ROCHA, O. C. et al. Water deficit in arabica coffee trees as affected by irrigation regimes in the cerrado region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Proceedings...** Paris: ASIC, 2008. p. 1157-1160.
- SANO, E. E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 153-156, 2008.
- SANTOS, M. N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso na Região dos Cerrados**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto do Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 719-730, 2005.
- SPERA, S. T. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 1079-1093, 2009.
- STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, San Francisco, v. 88, n. 2, p. 175-181, 2002.
- SULTANI, M. I. et al. Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. **International Journal of Environmental Sciences Technology**, New York, v. 4, n. 1, p. 109-118, 2007.