

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160

v.5, n.2, p.244-249, abr.-jun., 2010

Recife - PE, Brasil, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI 10.5039/agraria.v5i2a415

Protocolo 415 - 18/06/2008 • Aprovado em 07/04/2010

Jorge W. Cortez<sup>2</sup>

André L. T. Fernandes<sup>3,6</sup>

Alberto Carvalho Filho<sup>4</sup>

Rouverson P. da Silva<sup>5,6</sup>

Carlos E. A. Furlani<sup>5,6</sup>

# Modificação dos parâmetros físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de irrigação na cafeicultura<sup>1</sup>

## RESUMO

A crescente utilização da irrigação na cafeicultura vem trazendo mudanças no manejo com máquinas agrícolas, que por sua vez afeta a estrutura dos solos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os parâmetros físico-hídricos do solo (resistência mecânica do solo à penetração, conteúdo médio de água, densidade do solo e porosidade total) com cultivo de café em quatro sistemas de irrigação (pivô central, malha, tubos perfurados a laser e gotejamento) em diversas camadas de solo (0 a 0,50 m) na região do cerrado de Minas Gerais. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade de Uberaba (UNIUBE), sendo utilizado o delineamento inteiramente casualizado, para estudar as modificações nos parâmetros físicos do solo. A resistência mecânica do solo à penetração foi maior para os tubos perfurados a laser. A densidade do solo não diferiu entre os sistemas, nem nas camadas de solo. A porosidade total diferiu na camada de 0,20-0,30 m entre os sistemas de irrigação e as demais camadas. O pivô central apresentou maior porosidade total nessa mesma camada.

**Palavras-chave:** compactação do solo, densidade, porosidade total, resistência à penetração, umidade do solo

## Modifying the physico-hydric soil parameters under different irrigation systems in coffee crop

## ABSTRACT

The increasing use of the irrigation in coffee crop has been changing agricultural machines managing, which affects soil structure. This work aims at evaluating the physico-hydric soil parameters (penetration resistance, water content, soil bulk density and total porosity) with coffee cultivation under four irrigation systems (central pivot, sprinkler in mesh, laser-drilled tubes and dripping) in several soil layers (0 to 0.50 m) at the "cerrado" of Minas Gerais State, Brazil. The experiment was carried out at the School Farm of the Uberaba University (UNIUBE) using a completely randomized design to study the modifications of the physical soil parameters. Soil penetration resistance was greater for laser-drilled tubes. Soil bulk density didn't differ among the systems or soil layers. Total porosity differed in the layer of 0.20-0.30 m among the systems and the layers. Central pivot presented larger porosity at the same layer.

**Key words:** soil compaction, soil bulk density, total porosity, penetration resistance, water content

<sup>2</sup> Fundação Universidade Federal do Vale do Rio São Francisco (UNIVASF), Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, Country Club, CEP 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil. Fone/Fax: (74) 3614-1934. E-mail: jorge.cortez@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade de Uberaba (UNIUBE), Av. Nené Sabino, 1801, sala M03, Universitário, CEP 38055-500, Uberaba-MG, Brasil. Fone: (34) 3319-8963. Fax: (34) 3314-8910. E-mail: andre.fernandes@uniube.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba, Rodovia BR 354 - km 310 (a 1.300m), Caixa Postal 22, CEP 38810-000, Rio Paranaíba-MG, Brasil. Fone: (34) 3855-9009. E-mail: acarvalho@ufv.br

<sup>5</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Departamento de Engenharia Rural, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. Fone: (34) 3209-2637 Ramal 217. Fax: (16) 3203-3341. E-mail: rouverson@fcav.unesp.br; furlani@fcav.unesp.br

<sup>6</sup> Bolsista CNPq

<sup>1</sup> Parte da monografia apresentada pelo primeiro autor a de Especialização em Cafeicultura Irrigada da Universidade de Uberaba

## INTRODUÇÃO

O uso cada vez mais constante da irrigação na cafeicultura vem se tornando uma realidade, tanto em áreas consideradas marginais em termos de disponibilidade hídrica como nas aptas. Nestas, devido à presença de veranicos, nas fases de maior exigência de água pela cultura do café, como a granação e a floração. Os diversos sistemas de irrigação disponíveis proporcionam condições satisfatórias para suprir a exigência de água do cafeeiro. No entanto, não se sabe até que ponto cada método pode alterar a estrutura física do solo, quando aliado a diferentes sistemas de manejo da cultura do café. Estudos dessa natureza não têm sido encontrados na literatura e, quando existem resultados, esses foram conduzidos nas mesmas regiões, o que condiciona a conclusões semelhantes, isso faz com que os dados não possam ser extrapolados para as diversas regiões produtoras de café.

Camargo & Alleoni (1997) observaram que dentre as limitações que um solo pode impor à planta, a compactação pode causar restrição ao crescimento e desenvolvimento radicular, afeta direta e indiretamente a produção das plantas. A compactação do solo é considerada medida indireta, podendo ser índice qualitativo que se relaciona com a densidade do solo, determinada pela relação entre ar, água e temperatura que posteriormente influencia no desenvolvimento das plantas.

Uma das causas da formação da compactação do solo, segundo Carvalho Filho et al. (2004), é devida ao movimento de máquinas sobre o solo. Esta ação resulta na movimentação de partículas sólidas e líquidas, acarretando diminuição do volume, pois as partículas finas irão ocupar os espaços vazios o que diminui a porosidade total. Consequentemente haverá o aumento da densidade, o que caracteriza a compactação.

A compactação pode ser determinada por um método prático através da resistência mecânica do solo à penetração (RP), a qual deve ser medida quando o solo se encontra próximo à capacidade de campo (Bauder et al., 1981 apud Furlani et al., 2003). No entanto, Klein et al. (1998) consideraram que quando a análise de RP é feita próxima à capacidade de campo, o valor da resistência mecânica dos solos à penetração é mascarada pela umidade.

Segundo Rena & Maestri (1986) a irrigação pode reduzir a profundidade de penetração da raiz pivotante e o desenvolvimento de raízes primárias e secundárias nas camadas mais profundas do solo. Isto se deve ao arraste de argila dos horizontes superiores para as inferiores aumentando a RP, ao mesmo tempo em que, a irrigação condiciona o desenvolvimento do sistema radicular mais superficial.

Silva et al. (2001) avaliaram a RP em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média. Concluíram que a RP, na área com irrigação por tubos perfurados a laser, apresentou maiores valores onde o solo foi trafegado, do que no meio da rua de café.

Pressupõe-se que o uso de diferentes tipos de sistemas de irrigação irá modificar a estrutura física do solo seja pela necessidade do tráfego de máquinas para aplicação de fertilizantes e defensivos, como no caso dos sistemas de irrigação por aspersão, ou pela não necessidade de tais máquinas quan-

do se utiliza sistemas de irrigação localizados. Além disso, há de se considerar a maneira característica de aplicação de água de cada sistema de irrigação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros físico-hídricos de um solo (conteúdo médio de água, resistência mecânica do solo a penetração, densidade do solo e porosidade total), cultivado com cafeeiro irrigado por pivô central, tubos perfurados a laser, aspersão por malha e gotejamento em diferentes camadas do solo na região de Uberaba – MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Universidade de Uberaba (UNIUBE), com altitude de 850 m. O solo segundo a Embrapa (1999) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico com teores de areia de 72,64 g kg<sup>-1</sup>, argila de 21,96 g kg<sup>-1</sup> e silte de 5,4 g kg<sup>-1</sup>. Este solo apresenta umidade volumétrica correspondentes ao ponto de murcha permanente de 0,132 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, à capacidade de campo de 0,213 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, e a densidade média do solo de 1.470 kg m<sup>-3</sup>.

O experimento foi instalado no ano de 1999 em uma área de 20 ha, sendo 12 ha para o sistema de irrigação tipo pivô central e 2 ha para cada um dos demais sistemas: tubos perfurados a laser, gotejamento, aspersão em malha e testemunha. O cultivar instalado na área foi o Catuaí Vermelho H2077-2-5/144 no espaçamento de 4,0 m entre ruas por 0,5 m entre plantas, totalizando um estande de 5.000 plantas por hectare. A coleta de dados foi realizada no ano de 2005.

O clima da região, conforme método de Köppen é Aw tropical quente e úmido com inverno frio e seco. As médias anuais de temperatura e precipitação são 22°C e 1.474 mm, respectivamente, sendo as chuvas distribuídas irregularmente durante o ano, fazendo-se necessária a utilização de sistemas de irrigação para o cultivo da cultura do café. O manejo da irrigação baseou-se nos dados de uma estação meteorológica instalada junto ao local do experimento, sendo aplicada a quantidade de água evapotranspirada no dia anterior.

O pivô central, da marca Valley, utilizado possuía três torres equipadas com os emissores LEPA (low energy precision application), que fez a aplicação de uma lâmina d'água (lâmina d'água de 6,2 mm h<sup>-1</sup>). Na base do pivô central existiu um tanque com capacidade de 2.000 L, equipado com bomba de injeção de fertilizantes. Como a aplicação de insumos e defensivos foi feita pelo próprio pivô central por meio de água de irrigação, é reduzido o trânsito de máquinas nas entrelinhas do café.

O tubo perfurado a laser, que é um tipo intermediário entre irrigação localizada e por aspersão, foi da marca Santeno II<sup>o</sup>, com 100 m de comprimento tendo orifícios duplos espaçados de 4,0 m entre linhas e 0,75 m entre plantas, projetado para vazão de 3,3 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> a uma pressão de 20 mca. O manejo de fertilizantes, defensivos e herbicidas é feito via sistema convencional utilizando os seguintes equipamentos: tanque de 400 L montado da marca Jacto, para aplicação de herbicidas; distribuidor de fertilizantes montado de 600 kg da marca Jan; tanque de 2.000 L de arrasto da marca Jacto para pulve-

rizações de fungicidas e inseticidas e trator MF 275 de 55 kW (75 cv) como fonte de potência.

O sistema de gotejamento utilizado foi do tipo convencional, não existindo controle de pressão por parte dos emissores ao longo da linha na cultura. O modelo do gotejador, Tiran, espaçado de 4,0 m entre linhas e 0,70 m entre plantas, com vazão de 2,3 L h<sup>-1</sup>. Já o sistema de aspersão em malha foi montado com aspersores instalados numa malha hidráulica de 15 x 15 m, com regulador de pressão antes do aspersor. A testemunha onde não se fazia aplicação de água foi conduzida no centro da área experimental e as operações foram realizadas com os equipamentos já descritos.

Para a determinação da RP foi utilizado penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf desenvolvido por Stolf et al. (1983).

As amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, conteúdo médio de água e porosidade total, foram coletadas utilizando-se um amostrador de anéis volumétricos (volume de 8,68 x 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>).

O delineamento utilizado foi o Inteiramente Casualizado (DIC) resultando em 13 tratamentos e 4 repetições, no total de 52 parcelas. Os tratamentos foram: cinco sistemas de irrigação (pivô central, tubos perfurados a laser, aspersão em malha, gotejamento mais a testemunha), cinco camadas de solo, com 0,10 m de espessura, na profundidade de 0,0-0,50 m, (resistência do solo a penetração) para RP e três camadas de solo, também com 0,10 m de espessura, na profundidade de 0,0-0,30 m para demais parâmetros (conteúdo médio de água, a densidade do solo e a porosidade total).

Para a análise da RP foram avaliadas nas camadas de solo até 0,50 m de profundidade com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Os resultados dessa coleta foram fornecidos em "impactos dm<sup>-1</sup>" e transformados para MPa, conforme Eq. 1 descrita por Stolf (1991).

$$RP = \frac{5,8 + 6,89N}{10,2} \quad (1)$$

em que,

RP- resistência à penetração (MPa); e  
N - número de impactos.

O conteúdo médio de água (CMA), a densidade do solo (Ds) e a porosidade total (Pt) foram determinadas nas camadas de solo de até 0,30 m de profundidade com quatro repetições em cada camada, sendo as amostras coletadas em quatro pontos aleatórios dentro de cada parcela. As amostras foram posteriormente secadas em estufa à temperatura de 105 - 110°C até a massa constante, segundo metodologia citada por Embrapa (1997). Em seguida, foram resfriadas e pesadas, para a obtenção dos valores do conteúdo médio de água (Eq. 2) e da densidade do solo (Eq. 3).

$$CMA = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (2)$$

em que,

CMA - conteúdo médio de água no solo (%);  
MI - massa úmida de solo mais a massa do anel (kg);

MII - massa seca de solo mais a massa do anel (kg);  
TA - massa do anel (kg).

$$Ds = \frac{MII}{V} \quad (3)$$

em que,

Ds - densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>);  
V - volume total do anel (m<sup>3</sup>), e

As amostras depois de secas em estufa foram colocadas em uma bandeja com água até a saturação total e novamente pesadas, obtendo-se dessa forma a porosidade total pela Eq. 4 e Eq. 5.

$$Pt = \frac{(Vt - Vs)}{Vt} \times 100 \quad (4)$$

$$Vs = Vt - Vv \quad (5)$$

em que,

Pt - porosidade total (%);  
Vt - volume total (m<sup>3</sup>);  
Vs - volume de sólidos (m<sup>3</sup>);  
Vv - volume de vazios (m<sup>3</sup>).

Para a análise estatística foi utilizado o Teste de F, e quando significativo a pelo menos 5% de probabilidade as médias foram submetidas ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Gomes, 1987).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores do conteúdo médio de água no solo nos diferentes sistemas de irrigação e nas camadas avaliadas. Observa-se que, entre os sistemas de irrigação, não houve diferença estatística nas três camadas de solo. Este resultado evidencia que o conteúdo médio de água no solo não afetará as posteriores análises visando comparar a compactação entre sistemas de irrigação.

O CMA no solo para cada sistema de irrigação mostrou diferença entre as camadas analisadas para o pivô central e os tubos perfurados a laser. No pivô central e tubos perfurados a laser, observou-se que com o aumento da profundidade ocorreu a diminuição do CMA. Para os demais tratamentos: gotejamento, aspersão por malha e testemunha não foram encontradas diferenças estatísticas entre os valores do CMA

**Tabela 1.** Conteúdo médio de água na base de massa (%) entre os diferentes sistemas de irrigação e nas camadas de solo avaliadas

**Table 1.** Average water content on mass basis (%) between the different systems of irrigation and soil layers found

Sistemas	Camadas (m)			C.V. (%)
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	
Pivô Central	14,15 a A	12,60 a AB	11,63 a B	8,42
Tubos perfurados a laser	13,16 a A	11,34 a AB	9,55 a B	13,00
Gotejamento	13,32 a A	13,72 a A	11,61 a A	9,19
Aspersão por malha	13,23 a A	12,60 a A	11,39 a A	11,34
Testemunha	12,58 a A	11,42 a A	11,11 a A	11,97
C.V. (%)	8,30	12,13	14,04	

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V.: coeficiente de variação

**Tabela 2.** Resistência mecânica do solo a penetração (MPa) nos diferentes sistemas de irrigação e camadas**Table 2.** Mechanical resistance to penetration (MPa) in different irrigation systems and layers

Sistemas	Camadas (m)					C.V. (%)
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50	
Pivô Central	2,26 a B	4,28 ab A	3,61 a B	2,76 a B	2,09 a B	14,22
Tubos perfurados a laser	2,76 a C	5,46 a A	4,11 a B	2,59 a C	2,09 a C	12,58
Gotejamento	2,43 a B	4,11 b A	3,10 a AB	3,44 a AB	2,42 a B	26,79
Aspersão em malha	2,43 a BC	4,62 ab A	4,11 a AB	2,76 a BC	1,92 a C	21,55
Testemunha	2,43 a B	3,94 b A	2,93 a AB	2,59 a AB	1,92 a B	17,25
C.V. (%)	21,18	11,41	17,57	25,92	23,41	-

Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V.: coeficiente de variação

entre as camadas estudadas, mostrando que estes sistemas de irrigação proporcionam uma melhor distribuição do CMA dentro do perfil do solo.

Na Tabela 2 são apresentados os valores da RP nos diferentes sistemas e camadas de solo. Nota-se que apenas na camada de 0,10-0,20 m os valores de RP apresentaram diferença entre os sistemas de irrigação. Também pode ser observado que os tubos perfurados a laser diferiram do gotejamento e da testemunha, sendo que o primeiro apresentou os maiores valores de RP nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, sendo que nesta última camada o valor igual a malha.

Neste experimento, o tratamento irrigado com tubos perfurados a laser e a aspersão em malha, obtiveram as maiores médias de RP, principalmente na camada de 0,10-0,20 m, confirmando a prescrição de Rena & Maestri (1986) sobre translocação de argila do horizonte superficial. Nos tubos perfurados a laser obteve-se o maior valor de RP na camada de 0,10-0,20 m, em relação a todos os sistemas de irrigação, e o gotejamento ficou em segundo lugar (esse diferiu das demais camadas).

Silva et al. (2001) estudando a RP em um solo de fase arenosa com aspersão em malha, tubos perfurados a laser e testemunha na cultura do café, observaram que a maior RP foi encontrada para o sistema de irrigação por aspersão em malha. Notaram também que os sistemas irrigados apresentaram maior valor de RP nas camadas de 0,15 a 0,30 m quando comparados à testemunha que apresentou maior valor de RP nas camadas abaixo de 0,30 m. Este resultado corrobora o achado deste experimento

Na Tabela 2, observa-se que houve diferença entre os valores de RP nas camadas, sendo que o valor de RP na camada de 0,10-0,20 é influenciado pelo trânsito de máquinas na propriedade. No sistema de irrigação por pivô central e tubos perfurados a laser, observa-se o maior valor de RP nesta camada, que foi estatisticamente diferente e superior do que nas demais camadas.

Silva et al. (2002) em um experimento com intuito de avaliar a RP em Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média verificaram que a irrigação por tubos perfurados a laser apresentou maiores valores de RP tanto nas amostras onde é trafegado como no meio da rua de café onde não é trafegado, concordando com resultados deste trabalho.

Para o gotejamento e a testemunha, neste experimento, nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m foram obtidos os maio-

res valores de RP e o último, por sua vez, não diferiu dos demais.

Canarache (1990) apud Camargo & Alleoni (1997) sugeriu que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno desenvolvimento das raízes em solos argilosos. E para solos arenosos de 6,0-7,0 MPa, considerado limite de RP (Sene et al., 1985). Desse modo, os valores de resistência mecânica do solo à penetração, deste experimento, estão dentro do limite estabelecido para solos arenosos.

Experimento realizado por Silveira et al. (1997) em Latossolo Roxo, mostrou que os maiores valores de RP encontram-se nas camadas mais superficiais do solo, sendo os maiores valores até 0,15 m, concordando com esse experimento, onde a maior compactação foi verificada na camada de 0,10-0,20 m. Os autores ainda citam que onde as rodas dos tratores movem-se ocorrem maiores valores de RP do que na parte central da entrelinha.

Os resultados desse experimento concordaram com os de Silva et al. (2001), no qual, de um modo geral, os tratamentos com irrigação, apresentaram maiores valores de resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,10-0,20 m, enquanto que o tratamento com a testemunha (sem irrigação) apresentou comportamento diferenciado, com maior resistência à penetração nas camadas próximas de 0,20-0,30 m. Seixas & Souza (2007) verificaram par áreas florestais que a RP atingiu o seu ponto mais crítico após 20 passadas do veículo, com valores de resistência ao redor de 7,0 MPa nos 0,20 m superficiais do solo.

Na Tabela 3 é apresentada a comparação entre os valores de densidade do solo e porosidade nos diferentes sistemas de irrigação e nas diferentes camadas. Os valores de densidade do solo da análise estatística entre os sistemas de irrigação não diferiram entre si, apresentando média em torno de 1,7 Mg m<sup>-3</sup>. No entanto, Silva & Cabeda (2006) verificaram que no Argissolo Amarelo com e sem irrigação para a cultura da cana-de-açúcar (5-6 anos sem preparo), o grau de compactação foi maior no sistema de sequeiro na camada de 0,0 – 0,20 m, para as demais camadas (0,20 - 0,40 e 0,40 – 0,80 m) o sistema irrigado apresentou o maior valor do grau de compactação, contrariando os dados deste experimento.

Reinert et al. (2008) verificaram que a densidade do solo (Argissolo Vermelho) sob diferentes culturas de cobertura em sistema plantio direto (área sem preparo de solo como a cafeicultura) variaram de 1,36 a 1,92 Mg m<sup>-3</sup>, em

**Tabela 3.** Densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e porosidade total (%) do solo entre os diferentes sistemas e camadas**Table 3.** Bulk density ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) and porosity (%) of soil between the different systems and layers

Sistemas	Camadas (m)			C.V. (%)
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	
<b>Densidade do solo (<math>\text{mg m}^{-3}</math>)</b>				
Pivô Central	1,71 a A	1,78 a A	1,69 a A	3,12
Tubos perfurados a laser	1,71 a A	1,71 a A	1,68 a A	3,27
Gotejamento	1,73 a A	1,76 a A	1,69 a A	4,31
Aspersão em malha	1,74 a A	1,74 a A	1,71 a A	3,84
Testemunha	1,71 a A	1,76 a A	1,73 a A	2,19
C.V. (%)	4,25	3,10	2,73	-
<b>Porosidade total (%)</b>				
Pivô Central	25,87 a AB	23,63 a B	29,73 a A	8,49
Tubos perfurados a laser	25,43 a A	25,12 a A	26,44 ab A	8,10
Gotejamento	22,79 a A	22,78 a A	27,89 ab A	12,88
Aspersão em malha	25,53 a A	25,84 a A	27,55 ab A	6,53
Testemunha	25,90 a A	26,01 a A	24,77 b A	7,51
C.V. (%)	8,09	11,30	7,02	-

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V.: coeficiente de variação

que a menor densidade do solo, na média das culturas, foi na camada de 0 a 0,05 m ( $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$ ), e as maiores densidades (na faixa de  $1,78$  a  $1,81 \text{ Mg m}^{-3}$ ) ocorreram nas camadas de 0,05 a 0,30 m, o que corrobora os resultados deste experimento.

A forma e o arranjo diferenciados das partículas de areia e argila mostram que valores médios de densidade de solos arenosos se encontram entre  $1,2$  a  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$  (Camargo & Alleoni, 1997). Esses valores são inferiores ao desse experimento, mostrando que a densidade do solo em questão está alta e precisa ser realizado manejo adequado para diminuição de sua densidade. As áreas com sistemas de irrigação que utilizam maior tráfego de máquinas estão sujeitas a maiores valores de densidade do solo, como as que foram verificadas por Seixas & Souza (2007), em que as áreas onde o tráfego de máquinas florestais foi realizado com 10 passadas apresentaram incremento de 7% na camada de 0,05 – 0,10 m.

Os dados de porosidade total são apresentados na Tabela 3. Na camada de 0,20-0,30 m encontrou-se diferença estatística em relação aos sistemas de irrigação, enquanto que nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m não houve diferença significativa. Na camada de 0,20-0,30 m foi encontrado o maior valor de porosidade total do solo no sistema de pivô central, e esse por sua vez diferiu apenas da testemunha.

Analizando as camadas apenas no sistema de pivô central, observou-se diferença, sendo a maior porosidade total na camada de 0,20-0,30 m. Para a camada de 0,10-0,20 m foi encontrado o menor valor de porosidade total, devido ao maior efeito da compactação pelo trânsito de máquinas. Os demais sistemas não diferiram entre as camadas analisadas.

Comparando os valores da porosidade total com Carvalho Filho et al. (2004) em que a porosidade de solos arenosos é de 35 a 50%, pode-se verificar que esse solo está abaixo dos valores recomendados devido aos altos valores da RP. Isso indica que quando a porosidade total dimi-

nui, a macroporosidade sofre a maior influência, pois quanto menor o poro, mais difícil é a extração de água pelas plantas.

## CONCLUSÕES

O conteúdo médio de água não apresentou diferença entre os sistemas de irrigação avaliados, mas nas camadas superficiais os valores foram maiores para o pivô central e os tubos perfurados a laser.

A área sob o sistema de irrigação por tubos perfurados a laser apresentou o maior valor de resistência à penetração no solo na camada de 0,10-0,20 m.

Os valores médios de densidade do solo não diferiram entre os diferentes sistemas de irrigação e nas camadas de solo avaliadas.

A área sob sistema de irrigação por pivô central apresentou o maior valor de porosidade total do solo na camada de 0,20-0,30 m.

## LITERATURA CITADA

- Camargo, O.A.; Alleoni, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: USP, 1997. 132p.
- Carvalho Filho, A.; Silva, R.P.; Fernandes, A.L.T. Compactação do solo em cafeicultura irrigada. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2004. 44p. (UNIUBE - Boletim Técnico, n.3).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999. 412p.
- Furlani, C.E.A.; Amero, C.A.; Levien, R.; Lopes, A. Resistência do solo à penetração em preparo convencional, escarificação e semeadura direta em diferentes manejos da cobertura vegetal. Engenharia Agrícola, v.23, n.3, p.579-587, 2003.
- Gomes, F. P. Estatística Experimental. Piracicaba: Nobel, 1987. 403p.
- Klein, V.A.; Libardi, P.L.; Silva, A.P. Resistência mecânica do solo a penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. Engenharia Agrícola, v.18, n.2, p.45-54, 1998.
- Reinert, D.J.; Albuquerque, J.A.; Reichert, J.M.; Aita, C.; Andrada, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.5, p. 1805-1816, 2008.
- Rena, A.B.; Maestri, M. Fisiologia do cafeeiro. In: Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.13-86.
- Seixas, F.; Souza, C.R. de. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. Revista Árvore, v.31, n.6, p. 1047-1052, 2007.

- Sene, M.; Vepraskas, M.J.; Naderman, G.C.; Denton, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, n.2, p.422-427, 1985.
- Silva, A.J.N. Da; Cabeda, M.S.V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.6, p. 921-930, 2006.
- Silva, R.P.; Fontana, G.; Fernandes, A.L.T.; Drumond, L.C.D.; Carvalho Filho, A. Resistência mecânica do solo à penetração em diferentes sistemas de manejo do café sob irrigação. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 27., Uberaba, 2001. Anais. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2001. p. 205-206.
- Silva, R.P.; Campos, M.A.O.; Paiva, R.F.; Fernandes, A.L.T.; Drumond, L.C.D.. Avaliação da resistência mecânica do solo à penetração nas safras 2001 e 2002. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 28., 2002, Caxambu. Anais. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. p. 428-429.
- Silveira, G.M.; Pereira, J.C.V.A.; Cataneo, A. Efeito da subsoilagem na compactação do solo na cultura do café. *Engenharia Agrícola*, v.16, n.4, p.91-97, 1997.
- Stolf, R.; Fernandes, J.; Furlani Neto, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOLF. STAB, v.1, n.3, p.18-23, 1983.
- Stolf, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, n.3, p.229-235, 1991.