

Propriedades físicas e infiltración de água de um Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) do noroeste do estado de São Paulo, Brasil, sob três condições de uso e manejo

Physical properties and water infiltration on a Yellow Red Latosol (Oxisol) from northwest of São Paulo state, Brazil, under three conditions of soil use and management.

ALVES, M.C.¹; SUZUKI, L.E.A. S.¹; HIPÓLITO, J.L.² & CASTILHO, S.R.²

Abstract

This study presents the results obtained in a field experiment carried out at Glicério, Northwest of São Paulo state, Brazil, whose objective was to analyze changes of selected soil physical properties and water infiltration rates on a Yellow-Red Latosol, under three different management conditions. The experimental design was arranged as completely randomized split-block with twelve treatments, which corresponded to four depths (0-0.05 m; 0.05-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.40 m) and three conditions of soil use and management with four replications. The soil surface conditions were: conventional tillage (one disking with moulboard plus two levelling passes with harrow), nine months before starting filed experiences; recent conventional tillage (also one disking with moulboard plus two levelling passes with harrow) and native forest. The conventional tillage areas were cropped for about fifteen years with annual cultures. The considered soil general physical properties were: macroporosity, microporosity, total porosity, bulk density, soil moisture and penetration resistance and, in addition; soil water infiltration rates were also recorded. According to our results, differences on general soil physical properties and infiltration rates appeared when both tilled sub-treatments and native forest were compared. Both, plots recently prepared by conventional tillage and those prepared by tillage but left nine months in rest, presented a statistically significant decrease of constant (final) water infiltration rates of 92.72 % and 91.91 %, when compared with native forest plots.

Key words: soil tillage, penetration resistance, bulk density, soil porosity.

(1) Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP), Brasil. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

(2) Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI. Araçatuba-SP (Brasil)

INTRODUÇÃO

A preocupação em criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas faz com que sejam realizadas operações de preparo do solo. As operações realizadas motomecanicamente e sem o controle da umidade durante o preparo, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem influenciar negativamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetando o crescimento do sistema radicular, a produção das culturas e o seu desenvolvimento.

É comum encontrar (CAMARGO, 1983) em áreas sob preparo convencional, com aração e gradagens, camadas compactadas próximas à superfície, formadas pelas rodas do trator, que exercem pressão sobre a camada não cortada pelos implementos, e pelo elemento cortante, que exerce pressão na área de contato entre as camadas mobilizadas e não mobilizadas.

Dentre os efeitos da compactação nas propriedades físicas do solo, destacam-se: aumento da densidade do solo e da sua resistência mecânica (HILL & MEZA-MONTALVO, 1990; LEBERT & HORN, 1991), diminuição da porosidade total, tamanho, continuidade e distribuição dos poros, diminuição da infiltração, da condutividade hidráulica, capacidade de armazenamento de água, aeração, pressão de consolidação e índice de compressão (DIAS JUNIOR, 1994; DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996; KONDO, 1998), além de haver menor número de sítios com adequada aeração (CURRIE, 1984), sendo comum a ocorrência de baixa difusão de oxigênio no solo sob condições de umidade elevada. Ainda estas alterações podem limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes e o desenvolvimento do sistema radicular (BICKI & SIEMENS, 1991), resultando em decréscimo na produção agrícola.

Em trabalho realizado (ANJOS *et al.* 1994), com diferentes tipos de solo e quatro sistemas de uso e manejo - mata nativa, cultivo convencional, plantio direto e cultivo convencional com subsolagem, verificam-se em um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico álico aumento da densidade do solo nos diversos manejos em relação à mata nativa, a exceção das camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m onde não foram verificadas diferenças significativas. A porosidade total foi afetada pelos sistemas de uso e

manejo, estando seus valores inversamente associados aos da densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total. Os mesmos autores, (ANJOS *et al.*, 1994), no mesmo trabalho verificaram que a taxa final de infiltração e a infiltração acumulada decresceram nos sistemas de manejo em relação à mata nativa. Outros autores, (SILVA *et al.*, 2000) verificaram que o aumento da densidade do solo acarretou a redução da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo, com poros de 15 mm de diâmetro, dificultando o crescimento das raízes.

O tráfego de máquinas e implementos é um dos principais fatores na alteração das propriedades físicas do solo, conforme foi demonstrado (TORMENA *et al.*, 1998), em experimento conduzido num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, em que o tráfego de máquinas e implementos levaram à compactação e conseqüente redução da porosidade de aeração para valores abaixo do limite crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

No estudo dum Latossolo Vermelho-Amarelo, sob cultura anual, mata natural e pastagem, outros autores (KONDO & DIAS JUNIOR, 1999), verificaram que a umidade alterou a forma das curvas de compressão do solo, tendo o seu aumento correspondido a um aumento da densidade do solo.

Estudando um Latossolo Vermelho-Amarelo e três tipos de manejo do solo (cultura anual, pastagem e mata nativa), outros autores (DIAS JUNIOR & ESTANISLAU, 1999) mostraram que, para as três condições de manejo estudadas, à medida que a densidade do solo aumentou até atingir um máximo (densidade do solo máxima), a umidade gravimétrica aumentou.

Para a escolha do sistema mais adequado para uso e manejo do solo são necessários estudos das transformações ocasionadas pelos sistemas aos solos, a fim de que este recupere seu potencial produtivo. Estudando seis áreas diferentes (cerrado, culturas anuais em sistema convencional, eucalipto, pinus, mata ciliar e pastagem) e três profundidades (0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m), outros autores (CAVENAGE *et al.*, 1999), concluindo que o uso do solo alterou as suas propriedades físicas, em comparação com a vegetação natural do cerrado. A mata ciliar e o pinus foram as áreas mais promissoras na recuperação das condições de macroporosidade do solo; as maiores alterações do solo ocasionadas

nadas pelo uso e manejo foram verificadas na sua camada superficial (0- 0,20 m), comparando-se com as condições de vegetação natural de cerrado.

A infiltração de água no solo é um fator que indica as condições físicas do solo. Num estudo em um Latossolo Vermelho-Escuro sob preparo convencional, cultivo mínimo e sistema de plantio direto, outros autores, (BARCELOS *et al.*, 1999) verificaram que os preparos conservacionistas de solo (sistema de plantio direto e cultivo mínimo) apresentaram taxas de infiltração de água no solo superiores às do preparo convencional, exceto no período imediatamente após o preparo de solo.

Tendo em vista os efeitos ocasionados ao solo pelo preparo e mediante a constante preocupação de otimizar o uso do solo almejando a sua sustentabilidade, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de analisar a magnitude das alterações em algumas propriedades físicas e na infiltração de água no solo causadas por três condições de uso e manejo, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO do Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Sítio Floresta, Município de Glicério, Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil, em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, franco argilo arenoso (OLIVEIRA *et al.*, 1999; EMBRAPA, 1999). A área de estudo localiza-se a 21° 22' de Latitude Sul e 50° 43' Longitude, está a uma altitude de 386 metros acima do nível do mar. O clima é quente com inverno seco, sendo a precipitação média anual de 1.255 mm e temperatura média anual de 24,95 °C e mínima de 18,42 °C. O relevo da região é ondulado e suavemente ondulado e a vegetação natural era de cerrado.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e doze tratamentos, os quais corresponderam a três condições de uso e manejo: mata nativa (cerrado); preparo convencional (uma aração profunda com arado de aivecas e duas gradagens com grade niveladora), estando o solo recém-preparado no momento das avaliações; preparo convencional (uma aração profunda com arado de aivecas e duas gradagens com grade niveladora), após nove meses do preparo (de abril a dezembro/1999) e posterior

implantação de quatro espécies diferentes de adubos verdes: crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum typhoides*) e girasol (*Helianthus annuus*) por sistema de plantio direto, analisados em quatro profundidades, que variaram conforme a propriedade analisada.

O solo da área experimental vinha sendo utilizado há quinze anos com culturas anuais: soja (*Glycine max* L.)/milho (*Zea mays* L.) no sistema de preparo convencional (uma aração com arado de aiveca e duas gradagens com grade niveladora). Em abril de 1999 implantou-se este experimento, introduzindo-se os tratamentos estudados.

Para as áreas em estudo, as amostras com estrutura não deformada foram coletadas em anéis volumétricos nas profundidades de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, realizada em março de 2000, objetivando as seguintes determinações: (a) macro porosidade, micro porosidade, porosidade total foram analisadas de acordo com a metodologia previa (EMBRAPA, 1997); (b) densidade do solo - com as mesmas amostras coletadas para caracterizar a porosidade, determinou-se a densidade do solo, obtida pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997); (c) umidade do solo - a umidade do solo (base de massa) foi avaliada nas profundidades de 0-0,15 m, 0,15-0,30 m, 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, e o método empregado foi o de pesagem (método clássico). Na mesma época foram avaliadas a resistência à penetração e a taxa de infiltração de água no solo. A resistência à penetração foi feita com penetrógrafo tipo Penetrographer^{sc-60}, nas profundidades de 0-0,15 m, 0,15-0,30 m, 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m; a análise da taxa de infiltração de água no solo foi realizada pelo método dos anéis concêntricos (método da inundação) (BERTRAND, 1965).

O estudo estatístico constou da análise da variância dos dados originais, cujo modelo consta na Tabela 1 e, aplicação do teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para a comparação entre as médias obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores de F obtidos e a significância destes para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Tabela 2), notou-se que, para essas propriedades, ocorreram diferenças significativas entre as condições de

Causa de variação	Graus de Liberdade
Condições de uso e manejo	a-1
Profundidade	b-1
Cond.uso e manejo x prof.	(a-1) (b-1)
Repetição	r-1
Resíduo	(ab-1) (r-1)
Total	abr-1

a = condições de uso e manejo b = profundidade do solo r = repetição

Tabela 1. Esquema geral da análise de variância do experimento

uso e manejo do solo. Para as profundidades não foram observadas diferenças significativas para a macroporosidade e microporosidade, porém, houve para a porosidade total e densidade do solo. A interação entre as condições de uso e manejo do solo e a profundidade foi significativa, mostrando que o efeito da condição de uso e manejo do solo depende do efeito da profundidade, e vice-versa.

Na Tabela 3 são apresentados os dados referentes à macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo para as diferentes condições de uso e manejo do solo e profundidades. Com relação à macroporosidade, observou-se que, na camada de 0,00-0,05 m, não houve diferença no volume de macroporos nas três condições de uso e manejo do solo. Na camada de 0,05-0,10 m, o manejo com o preparo convencional recém-preparado apresentou maior volume de macroporos, diferindo dos demais manejos, isso pelo fato de o preparo do solo ter sido recente à amostragem.

Na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 3), o preparo convencional recém-preparado e a mata nativa apresentaram maior volume de macroporos, ambos diferindo do tratamento com preparo convencional após nove meses de efetuado. No preparo convencional recém-preparado, a profundidade de mobilização do solo foi maior que 0,10 m, aumentando o volume de macroporos nesta camada; e no preparo convencional realizado após nove meses as camadas

superiores e o movimento de máquinas e implementos promoveram pressão nas camadas inferiores, diminuindo a macroporosidade e aumentando a densidade do solo, bem como atuou também na própria acomodação do solo.

Analisando a camada de 0,20-0,40 m (Tabela 3), a área da mata apresentou maior volume de macroporos, diferindo dos demais tratamentos, devido à continuidade de macroporos das camadas superiores. Já no preparo convencional recém-preparado em razão da camada compactada, apresentou diminuição de macroporos e aumento da densidade do solo. Apesar de não ter ocorrido diferença significativa entre os dois manejos, a condição de preparo convencional recém-preparado apresentou valor de macroporosidade menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, preconizado como valor crítico para desenvolvimento do sistema radicular (BAVER, 1979).

Para as profundidades dentro de cada área (Tabela 3), observou-se na área de mata que a camada de 0,00-0,05 m obteve um elevado volume de macroporos em relação à camada de 0,05-0,10 m; relacionando esses valores com a densidade do solo nestas profundidades, verificou-se que na camada de 0,00-0,05 m a densidade foi menor e na camada de 0,05-0,10 m a densidade foi maior, semelhantemente ao observado (CAVENAGE *et al.*, 1999; HAKOYAMA *et al.*, 1995; DA ROS *et al.*, 1997), em que a macroporosidade apresentou-se menor na

Causa de variação	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo
Condições de uso e manejo	16,53 **	6,61 *	17,62 **	23,60 **
Profundidade	2,63 n.s.	1,71 n.s.	5,37 **	7,54 **
Cond.uso e manejo x prof.	9,26 **	5,24 **	6,31 **	6,94 **
C.V. (%)	23,99	8,29	8,89	7,35

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

Tabela 2. Valores e significância de F e coeficiente de variação (CV) para macroporosidade

camada superficial (0,00-0,10 m) pelo fato da densidade do solo ter sido maior, o que demonstra a relação do volume de macroporos com a densidade do solo.

No tratamento com preparo convencional recém-preparado (Tabela 3), o menor volume de macroporos foi obtido na profundidade de 0,20-0,40 m, que apresentou maior valor de densidade do solo, diferindo das demais profundidades. Para o tratamento com preparo convencional realizado há nove meses, não foram obtidas diferenças significativas no volume de macroporos nas profundidades estudadas. Apesar deste comportamento, verificou-se que, para a profundidade de 0,10-0,20 m, o valor da macroporosidade foi de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado no limite da condição mínima para não prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular. Alguns autores (HAKOYAMA *et al.*, 1995; DA ROS *et al.*, 1997) relataram que a mobilização do solo aumentou o volume de poros, principalmente de macroporos e, conseqüentemente, diminuiu o valor da densidade do solo, conforme resultados obtidos neste trabalho.

Observa-se pela Tabela 3 que, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m não houve diferença signifi-

cativa no volume de microporos entre as condições de uso e manejo do solo, enquanto que, nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, a área de mata apresentou menor volume de microporos e na profundidade de 0,20-0,40 m o manejo com preparo convencional recém-preparado obteve maior volume de microporos.

As diferenças dos valores de microporos são notadas nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m (Tabela 3) e, nestas situações sendo maiores nas condições do solo que ocorreram preparo, destacando-se o tratamento com preparo convencional recém-preparado. Resultados que concordam com a diminuição de macroporos e conseqüentemente presença de camada compactada. ALVES (1992) e VEIGA *et al.* (1994) observaram em camadas compactadas, aumento da densidade do solo, resultante do aumento da quantidade de sólidos em relação ao volume de poros e, nessa camada, predominam os microporos, nos quais o movimento da água e do ar é dificultado, diminuindo, dessa forma, a drenagem interna do solo comandada pela estrutura.

Em profundidade, na área de mata verificou-se que nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m o volume de microporos foi maior, diferindo das pro-

Condições de uso e manejo do solo	Profundidade (m)			
	0,00 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)			
Mata	0,23 aA	0,15 bB	0,24 aA	0,26 aA
Prep. conv. recém-prep.	0,19 aA	0,27 aA	0,23 aA	0,08 bB
Prep. conv. após 9 meses	0,18 aA	0,13 bA	0,10 bA	0,12 bA
	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)			
Mata	0,29 aA	0,28 aA	0,22 bB	0,23 bB
Prep. conv. recém-prep.	0,28 aA	0,26 aA	0,29 aA	0,30 aA
Prep. conv. após 9 meses	0,27 aA	0,27 aA	0,27 aA	0,26 bA
	Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)			
Mata	0,51 aA	0,43 bB	0,46 aAB	0,49 aAB
Prep. conv. recém-prep.	0,47 aA	0,53 aA	0,51 aA	0,38 bB
Prep. conv. após 9 meses	0,45 aA	0,40 bAB	0,37 bB	0,38 bAB
	Densidade do solo (kg dm^{-3})			
Mata	1,16 bB	1,35 aA	1,33 bAB	1,31 bAB
Prep. conv. recém-prep.	1,32 abB	1,15 bB	1,15 cB	1,56 aA
Prep. conv. após 9 meses	1,37 aB	1,52 aAB	1,58 aA	1,55 aAB

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 %.

Tabela 3. Valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, obtidos nos tratamentos estudados

fundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m desta área. No manejo com preparo convencional recém-preparado e com preparo convencional realizado após nove meses não houve diferenças significativas no volume de microporos nas profundidades estudadas, resultados semelhantes aos obtidos por CAVENAGE *et al.* (1999) em área com cultura anual, em preparo convencional.

Com relação à porosidade total (Tabela 3), observou-se que, na profundidade de 0,00-0,05 m, que ela não diferiu entre os tratamentos. Na profundidade de 0,05-0,10 m, o manejo com preparo convencional recém-preparado obteve maior porosidade. Para a profundidade de 0,10-0,20 m o manejo com preparo convencional após nove meses apresentou menores valores de porosidade total, enquanto que na profundidade de 0,20-0,40 m a maior porosidade total foi obtida pela área de mata, e os demais manejos em preparo convencional obtiveram a menor porosidade, o mesmo observado por CAVENAGE *et al.* (1999) com culturas anuais.

A mobilização do solo no tratamento com preparo convencional recém-preparado proporcionou maior volume de poros total (0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m), porém, na camada de 0,20-0,40 m, pela presença de camada compactada, os valores de poros são menores do que na mata nativa. Resultados que concordam com os verificados por ANJOS *et al.* (1994), onde os valores de porosidade total estiveram inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total, o que está de acordo com o presente trabalho.

A porosidade total apresentou valores compreendidos entre 0,37 e 0,51 m³ m⁻³, estando estes valores dentro da faixa encontrada por HILLEL (1970), que para solos minerais, varia de 0,30 a 0,60 m³ m⁻³. Nota-se pelos resultados apresentados que, em termos de distribuição do tamanho de poros, a área com preparo recém-preparada apresentou maior alteração na camada de 0,20-0,40 m, com valores, principalmente de macroporosidade, abaixo do valor crítico considerado para uma boa aeração às raízes (BAVER, 1972).

Observando as profundidades dentro de cada tratamento, verificou-se na área da mata que a menor porosidade total está na profundidade de 0,05-0,10 m e a maior está na camada de 0,00-0,05 m. No manejo com preparo convencional recém-

preparado a porosidade não diferiu significativamente nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e no manejo de solo com preparo convencional realizado há nove meses, a maior porosidade foi obtida na profundidade de 0,00-0,05 m e as demais não diferiram entre si.

Para a densidade do solo (Tabela 3), na profundidade de 0,00-0,05 m, o manejo com preparo convencional após nove meses de efetuado e o preparo convencional recém-preparado apresentaram os maiores valores de densidade, ao passo que a área de mata obteve a menor densidade do solo. Isso se deve ao fato de que nas áreas com preparo convencional ocorre movimento de máquinas e implementos, enquanto que na área de mata nativa o solo está estruturado, possuindo maior quantidade de matéria orgânica, poros, minhocas e insetos, fazendo com que o mesmo fique menos denso.

Na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3), o manejo com preparo convencional recém-preparado apresentou menor valor de densidade do solo, enquanto que as demais áreas apresentaram maiores valores, isso porque no preparo convencional recém-preparado o solo havia sido mobilizado, aumentando os espaços vazios do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por CENTURION & DEMATTÉ (1985); CENTURION (1987); MELLO (1987); HAKOYAMA *et al.* (1995); ALBUQUERQUE *et al.* (1995) e CAVENAGE *et al.* (1999) em áreas de preparo convencional com culturas anuais, encontrando menores valores de densidade do solo na camada de 0,00-0,10 m.

Para a profundidade de 0,10-0,20 m (tabela 3), as três áreas estudadas diferiram significativamente entre si, e para a profundidade de 0,20-0,40 m a menor densidade foi obtida pela área de mata, o mesmo observado por CAVENAGE *et al.* (1999), enquanto que os demais manejos obtiveram maior densidade. O manejo com preparo convencional após nove meses, apresentou o menor valor de densidade do solo na camada de 0,00-0,05 m. Neste sistema de manejo, os maiores valores para densidade do solo foram encontrados nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, e no manejo com preparo convencional recém-preparado na camada de 0,20-0,40 m, devido à compactação causada pelo preparo do solo. Isto significa que o rompimento da camada compactada, quando do preparo, é temporário e a mesma volta a existir novamente.

Segundo CAVENAGE *et al.* (1999), o uso inten-

sivo de implementos agrícolas e o tráfego excessivo de máquinas pesadas, em condições inadequadas de umidade, provocam a degradação da estrutura do solo, levando à compactação subsuperficial, fato que explica o aumento da densidade com a profundidade no manejo com preparo convencional recém-preparado e com preparo convencional após nove meses de realizado. Os efeitos do tráfego no aumento da densidade do solo também têm sido demonstrados por VOORHEES & LINDSTROM (1983) e TORMENA *et al.* (1998), principalmente em superfície.

Entre as profundidades, dentro de cada uso e manejo do solo (tabela 3), verificou-se na mata, como esperado, menor valor de densidade do solo na superfície, aumentando com a profundidade. Comportamento verificado devido a presença de matéria orgânica na superfície e, em profundidade ocorre o peso das camadas sobrejacentes que leva ao aumento da densidade do solo (KIEHL, 1979).

Os tratamentos com preparo do solo recém-preparado apresentou aumento significativo da densidade do solo na camada de 0,20-0,40 m indicando presença de camada compactada. Estes resultados estão coerentes com os verificados para a macroporosidade e porosidade total.

No tratamento com preparo convencional após

9 meses de realizado, a densidade do solo nas profundidades de estudo mostrou-se mais alterada, comparada à mata nativa, porém, ressalta-se que na profundidade de 0,20-0,40 m, apesar da densidade do solo estar elevada e não ter diferido do preparo convencional recém-preparado, apresentou macroporosidade maior e acima do valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado crítico (BAVER, 1979), indicando continuidade de poros.

O uso contínuo e intensivo de implementos agrícolas e o tráfego excessivo de máquinas pesadas, em condições inadequadas de umidade, provocam a degradação da estrutura do solo, levando à compactação subsuperficial, fato que explica o aumento da densidade do solo com a profundidade de estudo no perfil (CAVENAGE *et al.*, 1999).

A maior taxa constante de infiltração de água no solo foi obtida pela área da mata, com $116,50 \text{ cm h}^{-1}$, enquanto que no manejo com preparo convencional recém-preparado a taxa constante foi de $8,48 \text{ cm h}^{-1}$ e no manejo com preparo convencional realizado há nove meses a taxa foi de $9,42 \text{ cm h}^{-1}$. O manejo com preparo convencional recém-preparado e o manejo convencional após nove meses obtiveram uma redução na taxa constante de infiltração

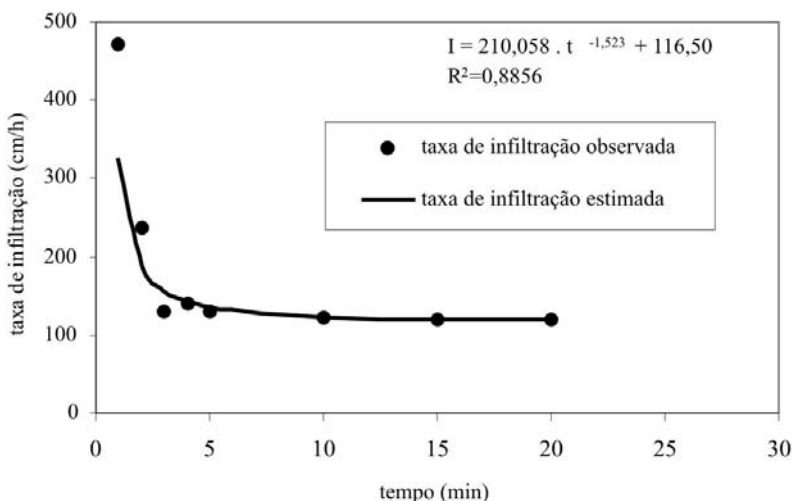


Fig. 1. Taxas de infiltração observada e estimada para área de mata nativa em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO.

de água no solo de 92,72 % e 91,91 %, respectivamente, em relação à área da mata. A constatação de que a infiltração é maior na mata nativa do que em solos cultivados foi observada nos trabalhos de LEITE & MEDINA (1984) e CORRÊA (1985).

Analisando as Figs 1, 2 e 3 em que constam as taxas de infiltração de água observadas e estimadas, verifica-se que o manejo com preparo convencional recém-preparado (Fig. 2) obteve inicialmente uma alta infiltração, com 459 cm h⁻¹ no primeiro minuto, isso pelo fato de a superfície estar mobilizada, mas após cinco minutos houve uma acentuada diminuição na taxa de infiltração, diminuindo para 18 cm h⁻¹, acarretando menor taxa constante de infiltração, em comparação com a mata nativa (figura 1).

No manejo sob mata nativa (Fig. 1) não se verificou diminuição acentuada na taxa de infiltração como a do manejo com preparo convencional recém-preparado (Fig. 2), sendo que no primeiro minuto a infiltração foi de 471 cm h⁻¹, e após cinco minutos a infiltração diminuiu para 129 cm h⁻¹. ALVES & CABEDA (1999) também observaram diminuição acentuada na taxa de infiltração com o tempo no preparo convencional. BARCELOS *et al.* (1999) admitem a possibilidade de que o menor percentual de cobertura do solo e a menor quantidade de palha na superfície possam explicar essa redução na taxa de infiltração no preparo convencional, ao favorecer a redução da rugosidade do terreno e a formação do selamento superficial, pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo desnudo. Concluíram também que os preparos conservacionistas do solo (sistemas de plantio direto e cultivo mínimo) apresentaram taxas de infiltração de água no solo superiores às do preparo convencional, exceto imediatamente após o preparo de solo.

A elevada taxa constante de infiltração de água na área da mata é explicada pela melhor estrutura do solo, que apresenta maior continuidade de poros, desde a superfície, pelo fato de a camada superficial não ter sido revolvida, estando o solo em equilíbrio. Segundo DUNN & PHILLIPS (1991), em sistemas de manejo pouco mobilizadores de solo, a elevada macroporosidade é devida à ação de raízes, minhocas e insetos presentes no solo, que favorecem a infiltração de água no mesmo.

Na figura 3, nota-se que a infiltração inicial de água no preparo convencional após nove meses foi

de 75 cm h⁻¹. Este valor considerado baixo em relação à mata, diminuiu após cinco minutos para 13,5 cm h⁻¹. Esta diminuição foi menos acentuada do que no preparo convencional recém-preparado. Este fato pode ser explicado pela acomodação da superfície do solo nos nove meses decorridos após o preparo e a presença de maior densidade do solo na profundidade de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. No entanto, as duas áreas com preparo convencional, atingiram uma baixa taxa constante de infiltração (8,50 e 9,42 cm h⁻¹ contra 116,5 cm h⁻¹ da mata). Entretanto, verificou-se que, desde o início, a infiltração foi bem menor (75 cm h⁻¹) comparativamente à mata e à área com preparo convencional recém-preparado (471 e 459 cm h⁻¹, respectivamente).

A resistência à penetração varia com a densidade e umidade do solo (BUSSCHER, 1990), podendo indicar limitação ao desenvolvimento do sistema radicular. Analisando os valores de F e significância destes para a resistência à penetração (tabela 4), observa-se que ocorreram diferenças significativas entre as condições de uso e manejo, profundidades e para a interação condições de uso e manejo x profundidade. A interação mostrou-se significativa, indicando que o efeito das condições de uso e manejo do solo depende da profundidade e vice-versa.

De acordo com o Tabela 5, comparando os sistemas de preparo de solo, verificou-se que a resistência do solo à penetração foi maior no preparo convencional após nove meses de efetuado (Tabela 5). DE MARIA *et al.* (1999), avaliando diferentes sistemas de preparo do solo, também verificaram valores maiores ou iguais significativamente para densidade e resistência à penetração do solo no sistema de semeadura direta em relação aos sistemas convencionais.

Observou-se que a área com preparo convencional após nove meses de ter sido efetuado, apresentou os maiores valores de resistência à penetração para todas as profundidades. Nas camadas de 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, a área recém-preparada apresentou valores que não diferiram significativamente em relação à área preparada há nove meses. Os menores valores de resistência à penetração foram obtidos pela área da mata em todas as profundidades, com exceção da camada de 0,00-0,15 m,

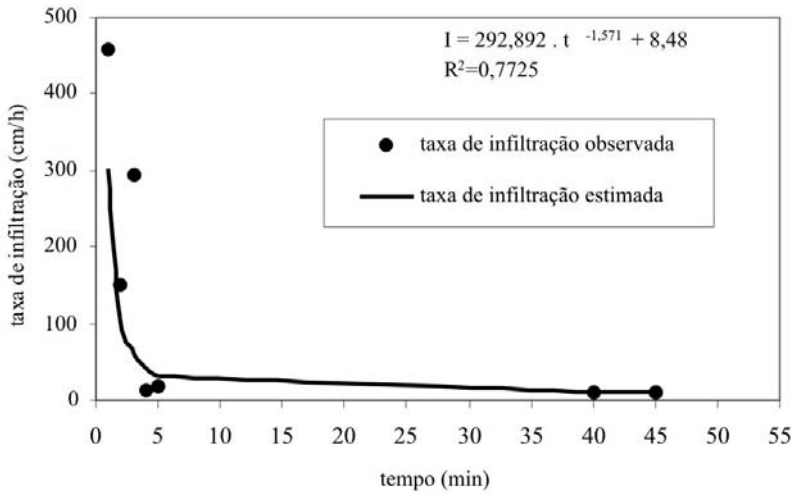


Fig. 2. Taxas de infiltração observada e estimada para área recém-preparada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO.

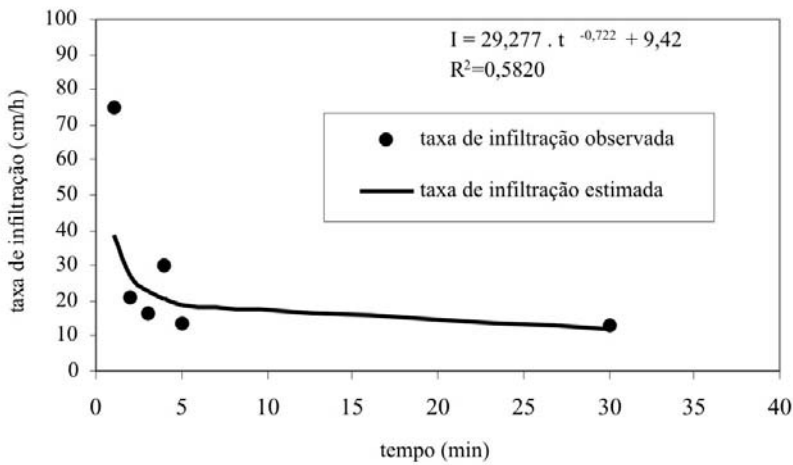


Fig. 3. Taxas de infiltração observada e estimada para área preparada após nove meses em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO.

Causa de variação	Valores de F
Condições de uso e manejo	74,76 **
Profundidades	3,68 *
C.uso e manejo x prof.	10,29 **
C.V. (%)	25,97

**significativo a 1 %

* significativo a 5 %

Tabela 4. Valores de significância de F e coeficiente de variação (CV) resistência à penetração (MPa)

Condições de uso e manejo do solo	Profundidade (m)			
	0,00–0,15	0,15–0,30	0,30–0,45	0,45–0,60
Mata	1,00 bA	0,70 bA	0,70 bA	0,70 bA
Prep. conv. recém-prep.	0,17 cB	1,24 bA	1,72 aA	1,42 aA
Prep. conv. após 9 meses	2,56 aA	2,84 aA	2,22 aA	1,52 aB

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não difere estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 %.

Tabela 5. Valores de resistência à penetração (MPa) obtidos nos tratamentos estudados

em que a área recém-preparada quase não apresentou resistência à penetração, pelo fato de o solo ter sido recém-preparado no período de avaliação. A área com preparo convencional efetuado há nove meses obteve maior resistência à penetração pelo fato de o solo estar adensado devido a que, como não houve mobilização posterior deste solo, ocorreu uma acomodação natural do mesmo. Os menores valores de resistência para a área da mata são explicados pelo fato de o solo da mata possuir maior quantidade de matéria orgânica, umidade e por não haver adensamento ou compactação.

Analisando a resistência à penetração em cada tratamento, verificou-se que na área da mata não houve diferença significativa entre as profundidades pelo fato de o solo estar em equilíbrio desde as camadas superiores até as inferiores; na área recém-preparada, a única diferença significativa foi na camada de 0,00-0,15 m, que obteve a menor resistência pelo fato de o solo ter sido recém-mobilizado; na área após nove meses de preparada, a camada de 0,45-0,60 m diferiu significativamente das demais, apresentando menor resistência pelo fato de o solo não ter sido mobilizado nesta profundidade em plantios anteriores e, conseqüentemente, esta camada apresentou menor grau de compactação em relação às superiores. Apesar de não ter ocorrido diferenças significativas nas demais camadas, a maior resistência à penetração ocorreu na profundi-

dade de 0,15-0,30 m, podendo ser resultante de compactação por preparos convencionais do solo com uso de grade pesada, e nos primeiros 0,15 m o resultado indica efeitos do tráfego, já que resultados obtidos por TORMENA & ROLOFF (1996) mostraram que os efeitos do tráfego se concentram nos primeiros 0,20 m de profundidade.

Os valores de F e a significância destes para umidade podem ser observados no tabela 6. Verificou-se que ocorreram diferenças significativas para as condições de uso e manejo e profundidades, e a interação condições de uso e manejo x profundidade mostrou-se significativa, indicando que o efeito de condições de uso e manejo depende da profundidade, e vice-versa.

Observando a tabela 6, nota-se que, em todas as profundidades, o solo sob mata nativa apresentou maiores valores de umidade em relação aos demais tratamentos, o que está relacionado aos maiores teores de matéria orgânica e porosidade, bem como à melhor estruturação do solo comparativamente aos demais manejos. Na camada de 0,00-0,15 m a área após nove meses de preparada apresentou o menor valor de umidade pelo fato de haver compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos, dificultando a infiltração da água e fazendo com que esta se perca pelo escoamento superficial, enquanto que, na camada de 0,15-0,30 m a área recém-preparada apresentou menor valor de umidade, o

Causa de variação	Valores de F - Umidade
Condições uso e manejo	190,12 **
Profundidades	7,09 **
C.uso e manejo x prof.	9,09 **
C.V. (%)	3,80

**significativo a 1 %

Tabela 6. Valores de significância de F e coeficiente de variação (CV) para umidade do solo (kg kg⁻¹)

Condições de uso e manejo	Profundidade (m)			
	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60
Mata	0,14 aB	0,15 aB	0,14 aB	0,16 aA
Prep. conv. recém-prep.	0,13 bA	0,10 cB	0,12 bA	0,12 bA
Prep. conv. após 9 meses	0,11 cA	0,12 bA	0,12 bA	0,12 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não difere estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 %.

Tabela 7. Valores de umidade (kg kg⁻¹) obtidos nos tratamentos estudados.

que provavelmente se deve a uma maior evaporação.

Nas profundidades de 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, a área recém-preparada e a área preparada há nove meses não diferiram entre si. Observando a umidade em profundidade, dentro de cada manejo, verificou-se que no solo preparado convencionalmente após nove meses não houve diferença entre as profundidades, e na área de mata a diferença ocorreu apenas na profundidade de 0,45-0,60 m, que apresentou maior umidade em relação às demais camadas. Na área recém-preparada, a profundidade de 0,15-0,30 m obteve a menor umidade, enquanto que as demais profundidades não diferiram entre si.

CONCLUSÕES

1. O preparo convencional do solo promoveu alterações nas propriedades físicas do solo e na taxa de infiltração de água comparativamente ao solo sob mata nativa.

2. O preparo convencional do solo, após nove meses de realizado, apresentou alterações evidenciando compactação a partir da profundidade de 0,05 m.

3. O preparo convencional recém-preparado e o preparo convencional após nove meses de realizado apresentaram uma redução na taxa constante de infiltração de água no solo de 92,72 % e 91,71 %, respectivamente, em relação à área de mata nativa.

4. A taxa de infiltração inicial de água no preparo convencional recém-preparado foi 83,66 % maior do que no preparo convencional após nove meses de realizado, porém esta taxa se reduziu drasticamente e ambas as condições atingiram taxas constantes de infiltração semelhante.

Recibido:18/2/2005
Aceptado:13/6/2005

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. (1995). Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:115-119.
- ALVARENGA, R.C.; FIGUEIREDO, A.F.; OLIVEIRA, W. & FREIRE, J.C. (1983). Armazenamento de água em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob pastagem e cultivo anual. *Ci. Prat.*, 7:48-57.
- ALVES, M.C. & CABEDA, M.S.V. (1999). Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:753-761.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. (1994). Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:139-145.
- BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, J.E. (1999). Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:35-43.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. (1972). *Soil physics*. 4.ed. New York: John Wiley C.Sons, Inc., 529p.
- BERTRAND, A.R. (1965). Rate of water intake in the field. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p.197-209.
- BICKI, T.J. & SIEMENS, J.C. (1991). Crop response to wheel traffic soil compaction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 34:909-913.
- BUSSCHER, W.J. (1990). Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 2:519-524.
- CAMARGO, O.A. (1983). *Compactação do solo e o crescimento das plantas*. Campinas, Fundação Cargill, 44p.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZZETTI, (1999). S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:997-1003.
- CENTURION, J.F. (1987). Efeitos de diferentes sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob vegetação de cerrado e na cultura do milho. *Científica*, 15:1-8.
- CORREA, J.C. (1985). Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (Typic Acrorthox) do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:1381-1387.
- CURRIE, J.A. (1984). Gas diffusion through soil crumbs: The effects of compaction and wetting. *J. Soil Sci.*, 35:1-10.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. (1997). Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:241-247.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. (1999). Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-709.
- DIAS JUNIOR, M.S. (1994). *Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic*. East Lansing, Michigan State University, 114p. (Tese de Doutorado).
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, J.F. (1996). Revisão de literatura. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:175-182.
- DIAS JUNIOR, M.S. & ESTANISLAU, W.T. (1999). Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:45-51.
- DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. (1991). Macroporosity of a well drained soil under no-tillage and conservation tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:817-823.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999. 412p.
- HAKOYAMA, S.; YOSHIDA, K.; NAKAGAWA, J.; MORAES, M.H.; IWAMA, H.; IGUITA, K. & NAKAGAWA, J. (1990). Efeitos da semeadura direta e do preparo convencional em algumas

- propriedades físicas do solo. *Científica*, 23:17-30.
- HILL, R.L. & MEZA-MONTALVO, M. (1990). Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:865-870.
- KIEHL, E.J. (1979). *Manual de edafologia*. São Paulo, Agronômica Ceres. 262p.
- KONDO, M.K. (1998). *Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 121p. (Tese de Mestrado).
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. (1999). Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:497-506.
- LEBERT, M. & HORN, R. (1991). A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.*, 19:274-286.
- MELLO, L.M.M. (1987). *Efeito de tipos de preparo sobre características do solo e da cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill)*. Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 81p. (Tese de Mestrado).
- MOURA FILHO, W. & BUOL, S.W. (1972). Studies of a Latosol Roxo (Eutrustox) in Brazil. *Experientiae*, 13:201-234.
- OLIVEIRA, J.B. et al. (1999). *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas, Instituto Agronômico, Rio de Janeiro – EMBRAPA, Solo. 64p.
- OLIVEIRA, M.; CURI, N. & FREIRE, J.C. (1983). Relações massa/volume em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média-argilosa da região de Lavras (MG) sob pastagem e cultivo anual. *Ci. Prát.*, 7:66-74.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. (2000). Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199.
- TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. (1996). Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:333-339.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. (1998). Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309.
- VOORHEES, W.B. & LINDSTROM, M.J. (1983). Soil compaction constraints on conservation tillage in the northern corn belt. *J. Soil Water Conserv.*, 38:307-311.